



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

**VYUŽITÍ STATISTICKÝCH METOD PRO ZAJIŠTĚNÍ
ZPŮSOBILOSTI PROCESU VÝROBY**

USAGE OF STATISTICAL METHODS TO ASSURE CAPABILITY OF PRODUCTION PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Peroutka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Doubravský, Ph.D.

BRNO 2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Peroutka Michal, Bc.

Řízení a ekonomika podniku (6208T097)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

Využití statistických metod pro zajištění způsobilosti procesu výroby

v anglickém jazyce:

Usage of Statistical Methods to Assure Capability of Production Process

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Vymezení problému a cíle práce

Teoretická východiska práce

Analýza problému a současná situace

Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

- KROPÁČ, J. Statistika C: statistická regulace, indexy způsobilosti, řízení zásob, statistické přejímky. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2008. 97 s. ISBN 978-80-214-3591-9.
- KUPKA, K. Statistické řízení jakosti: interaktivní analýza a interpretace dat pro řízení jakosti a ekonomiku. Pardubice: TriloByte, 1997. 191 s. ISBN 80-238-1818-x.
- NENADÁL, J. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. 1. vyd. Praha: Management Press, 2008. 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
- PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2001. 244 s. ISBN 80-7226-543-1.
- TOŠENOVSKÝ, J. a D. NOSKIEVIČOVÁ. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava: Montanex, 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-x.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Doubravský, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/2016.

L.S.

prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA
Ředitel ústavu

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
Děkan fakulty

V Brně, dne 29.2.2016

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá využitím statistických metod pro zajištění způsobilosti procesu výroby. Teoretická část zahrnuje vymezení managementu jakosti, základních statistických pojmů a statistické regulace procesu. Praktická část představuje základní údaje o společnosti P & L, spol. s r. o. a analyzuje výrobní proces vybraných dílů. Jsou aplikovány nástroje statistické regulace procesu a navržena opatření pro zajištění způsobilosti procesu výroby.

Abstract

The diploma thesis deals with usage of statistical methods to assure capability of production process. The theoretical part includes the definition of quality management, basic statistical concepts and statistical process control. The practical part presents basic information about the company P & L, spol. s r. o. and analyzes the production process of selected parts. The tools of statistical process control are applied and measures to assure capability of production process are proposed.

Klíčová slova

Kvalita, management jakosti, statistická regulace procesu, variabilita procesu, regulační diagramy, indexy způsobilosti

Keywords

Quality, Quality management, Statistical process control, Process variability, Control charts, Process capability indices

Bibliografická citace

PEROUTKA, M. *Využití statistických metod pro zajištění způsobilosti procesu výroby*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2016. 90 s. Vedoucí
diplomové práce Ing. Karel Doubravský, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 14. května 2016

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Karlovi Doubravskému Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a odborné vedení při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval společnosti P & L, spol. s r. o. za poskytnuté materiály potřebné pro vypracování této práce.

OBSAH

ÚVOD	11
CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	12
1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA	13
1.1 Management jakosti	13
1.1.1 Zásady managementu jakosti.....	14
1.1.2 Sedm základních nástrojů managementu jakosti	15
1.2 Statistické pojmy	17
1.2.1 Normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$	18
1.2.2 Empirické charakteristiky kvantitativního znaku	20
1.3 Statistická regulace procesu.....	21
1.3.1 Variabilita procesu	21
1.3.2 Fáze statistické regulace procesu	24
1.4 Principy regulačního diagramu	26
1.4.1 Shewhartovy regulační diagramy	28
1.4.2 Regulační diagramy (x_i, R_{kl})	30
1.4.3 Testy nenáhodných seskupení	32
1.5 Hodnocení způsobilosti procesu.....	35
1.5.1 Index způsobilosti C_p	36
1.5.2 Index způsobilosti C_{pk}	37
1.5.3 Index způsobilosti C_{pm}	39
1.5.4 Index způsobilosti C_{pmk}	40
2 ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE	41
2.1 Představení společnosti	41
2.1.1 Portfolio společnosti.....	42

2.1.2	Servis a náhradní díly	43
2.1.3	Výroba	43
2.2	Výrobní proces vybraných dílů	45
2.2.1	Čep závěsu	46
2.2.2	Kroužek držáku	46
2.2.3	Hřídel pohonu	46
2.2.4	Kontrola jakosti	47
2.3	Aplikace regulačních diagramů	48
2.3.1	Regulovaný znak jakosti 1	49
2.3.2	Regulovaný znak jakosti 2	52
2.3.3	Regulovaný znak jakosti 3	55
2.3.4	Regulovaný znak jakosti 4	58
2.3.5	Regulovaný znak jakosti 5	61
2.3.6	Regulovaný znak jakosti 6	64
2.4	Aplikace indexů způsobilosti	69
2.4.1	Regulovaný znak jakosti 1	69
2.4.2	Regulovaný znak jakosti 2	71
2.4.3	Regulovaný znak jakosti 3	72
2.4.4	Regulovaný znak jakosti 4	74
2.4.5	Regulovaný znak jakosti 5	75
2.4.6	Regulovaný znak jakosti 6	77
2.5	Shrnutí výsledků regulačních diagramů a indexů způsobilosti	80
3	VLASTNÍ NÁVRHY	81
	ZÁVĚR	84
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	85
	SEZNAM TABULEK	86

SEZNAM OBRÁZKŮ	87
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	89
SEZNAM PŘÍLOH	90

ÚVOD

V současné době je kvalita výrobku jedním z rozhodujících faktorů stabilního ekonomického růstu firmy. Kvalita výrobku je přímo úměrná kvalitě systému managementu jakosti. Firmy, které mají moderní systémy managementu jakosti, dosahují lepších výsledků než firmy, které využívají tradiční metody zabezpečení jakosti.

Mezi moderní systémy managementu jakosti patří systém statistické regulace procesu, jehož cílem je dosažení a udržení výrobního procesu na stabilní úrovni a trvale produkovat výrobky, které vyhovují požadovaným parametrům jakosti. Tento systém je založen na prevenci, tedy na předcházení vzniku neshodných výrobků. Včasným odhalením významných odchylek procesu od předem stanovených parametrů umožňuje uskutečňovat včasné zásahy do procesu. Dochází ke snižování nákladů na kontrolu, materiál a mzdy, které byly vynaložené při výrobě neshodných výrobků. Zvyšuje se produktivita a účinnost vnitropodnikových procesů. Statistická regulace procesu tak představuje zásadní posun od dříve prosazované strategie následné kontroly již vyrobených produktů.

Předmětem této diplomové práce je aplikace systému statistické regulace procesu na výrobní proces vybraných dílů ve společnosti P & L, spol. s r. o. Cílem je zhodnocení způsobilosti procesu výroby dílů pomocí nástrojů statistické regulace procesu.

Diplomová práce se skládá z teoretické a analytické části. V teoretické části je vymezena problematika managementu jakosti, základních statistických pojmů, statistické regulace procesu, regulačních diagramů a indexů způsobilosti. V analytické části je představena společnost P & L, spol. s r. o., výrobní proces vybraných dílů a současný proces kontroly kvality výroby. Následně jsou aplikovány nástroje statistické regulace procesu a navržena opatření pro zajištění způsobilosti procesu výroby.

CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Předmětem této diplomové práce je využití statistických metod pro zajištění způsobilosti procesu výroby vybraných dílů firmy P & L, spol. s r. o. tak, aby došlo ke splnění požadavků na jejich jakost.

Cíle práce jsou definovány následovně:

- zhodnocení způsobilosti procesu výroby dílů pomocí regulačních diagramů,
- zhodnocení způsobilosti procesu výroby dílů pomocí indexů způsobilosti,
- návrh opatření pro zajištění způsobilosti procesu výroby.

Postup zpracování této diplomové práce se skládá z prostudování problematiky statistické regulace, regulačních diagramů a indexů způsobilosti. Dále je detailně popsán výrobní proces vybraných dílů. Z výkresové dokumentace jsou vybrány znaky jakosti, které jsou důležité pro způsobilost procesu výroby. Způsobilost procesu výroby dílů je zhodnocena aplikací regulačních diagramů a indexů způsobilosti na vybrané znaky jakosti. Na základě provedeného zhodnocení jsou navržena opatření pro zajištění způsobilosti procesu výroby.

V práci jsou použity následující metody:

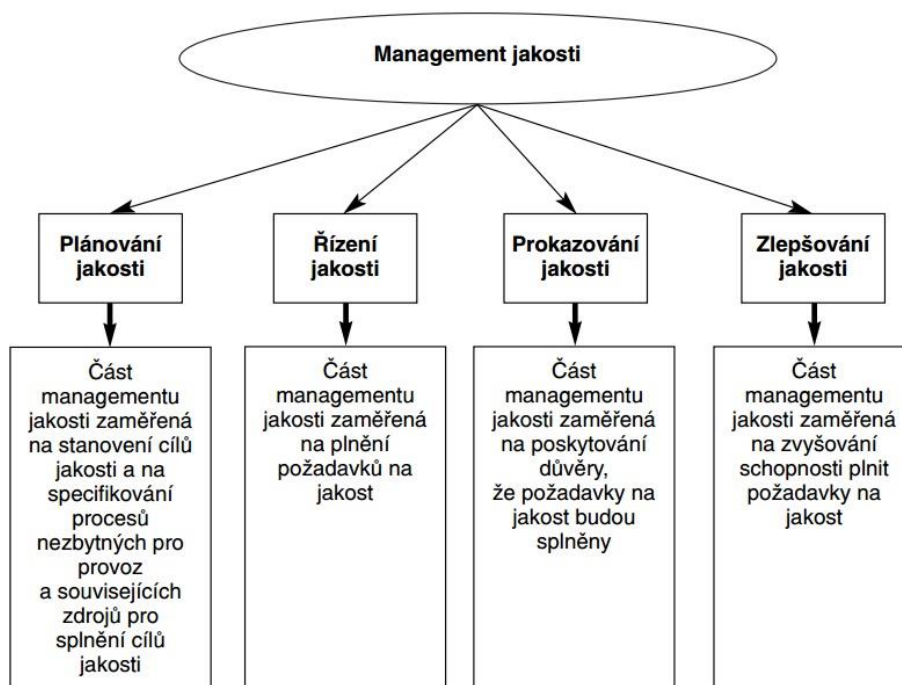
- statistická regulace procesu,
- Shewhartovy regulační diagramy,
- indexy způsobilosti.

1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

1.1 Management jakosti

Jakost (kvalitu) můžeme definovat dle normy ČSN EN ISO 9000:2006 jako „stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik“ (1, s. 19). V definici uvedený výraz „stupeň“ činí z jakosti měřitelnou kategorii, u které jsme schopni rozlišovat její úroveň. Zmíněné požadavky jsou často dány kombinací požadavků externích zákazníků, dalších zainteresovaných stran a platné legislativy (např. zákonem, normou). Inherentní charakteristika představuje takový znak výrobku či služby, který je pro daný produkt typický (např. průměr dílu, výkon stroje). Jakost tedy představuje komplexní vlastnost výrobků, služeb, informací, lidí i systémů, které jsou schopny plnit požadavky, jež jsou na ně kladeny (2, s. 13-14).

Management jakosti je normou ČSN EN ISO 9000:2006 definován jako „koordinované činnosti pro vedení a řízení organizace pokud se týče kvality“ (1, s. 22). Zmíněných činností je celá řada a lze je rozčlenit do čtyř hlavních skupin označených jako plánování, řízení, prokazování a zlepšování jakosti (viz obr. 1).



Obr. 1: Skupiny procesů managementu jakosti (Zdroj: 2, s. 15)

Plánování jakosti (Quality Planning) je strategickým souborem procesů, které slouží ke stanovení cílů organizace v oblasti jakosti. Dále tyto činnosti slouží ke stanovení metod a zdrojů, které organizace využije k dosažení těchto cílů. Činnosti řízení a prokazování jakosti mají operativní charakter. V případě *řízení jakosti* (Quality Control) se jedná např. o řízení měřících zařízení, nakupování atd. Důležitými činnostmi při *prokazování jakosti* (Quality Assurance) jsou aktivity ověřování, posuzování shody a provádění auditů. *Zlepšováním jakosti* (Quality Improvement) jsou myšleny činnosti, které vedou při splnění požadavků k dosažení nové, vyšší úrovně jakosti produktů (procesů). Tyto čtyři skupiny procesů a činností by neměly být v rámci tzv. systému managementu jakosti prováděny bez vzájemné koordinace a harmonizace. Systém managementu jakosti můžeme chápat jako soubor prvků, které spolu vzájemně souvisí a který je nedílnou součástí celkového systému řízení organizace. Tento systém má garantovat maximální spokojenost a loajalitu zainteresovaných stran při minimalizaci spotřeby zdrojů (2, s. 14-15).

Role statistických metod je v managementu jakosti velmi důležitá, neboť mohou pomoci s objasněním příčin variability, což organizaci pomůže při řešení problémů a při zlepšování účinnosti a efektivnosti podnikových procesů. Tyto metody mohou pomoci při měření, popisování, analyzování, interpretování a modelování této variability. Statistické metody též usnadňují používání dostupných zdrojů, které pomáhají organizaci při rozhodování (1, s. 17).

1.1.1 Zásady managementu jakosti

Pro úspěšné vedení a fungování organizace je nutné její systematické a transparentní řízení. Úspěch může být dosažen zavedením a udržením takového systému managementu jakosti, které se snaží o neustálé zlepšování výkonnosti organizace dle potřeb zainteresovaných stran. Bylo určeno osm zásad managementu kvality, které může vrcholové vedení použít pro vedení organizace s cílem zvýšení její výkonnosti. Jedná se o následující zásady:

- a) *Zaměření na zákazníka*. Organizace mají rozumět současným potřebám zákazníků a předpovídat jejich budoucí potřeby. Následně mají tyto požadavky plnit;

- b) *Vedení a řízení lidí (vůdčí role)*. Vedoucí pracovníci mají vytvářet a udržovat interní prostředí, ve kterém mohou lidé naplno využít svůj potenciál při dosahování cílů organizace;
- c) *Zapojení lidí*. Plným zapojením lidí na všech úrovních umožňuje organizace využít jejich schopností a dovedností pro dobro organizace;
- d) *Procesní přístup*. Řízením činností a zdrojů jako proces se dosáhne požadovaného výsledku mnohem účinněji;
- e) *Systémový přístup k managementu*. Identifikací, porozuměním a řízením souvisejících procesů jako systému dojde ke zvýšení efektivnosti a účinnosti organizace při plnění jejich cílů;
- f) *Neustálé zlepšování*. Stálým cílem organizace by mělo být neustálé zlepšování její celkové výkonnosti;
- g) *Přístup k rozhodování zakládající se na faktech*. Efektivní rozhodování organizace je podmíněno provedením analýz údajů a informací;
- h) *Vzájemné prospěšné dodavatelské vztahy*. Organizace a dodavatelé jsou na sobě vzájemně závislí a jejich vzájemně výhodný vztah zvyšuje jejich schopnost vytvářet hodnotu (1, s. 8-9).

1.1.2 Sedm základních nástrojů managementu jakosti

Úspěšného a efektivního zlepšování jakosti lze dosáhnout použitím vhodných nástrojů a metod. Mezi tyto nástroje můžeme zařadit sedm základních nástrojů managementu jakosti, které se používají při řešení problémů operativního řízení jakosti a při zlepšování jakosti. Patří sem následující nástroje:

1. vývojový (postupový) diagram,
2. diagram příčin a následku,
3. formulář (záznamník) pro sběr údajů,
4. Paretův diagram,
5. histogram,
6. bodový diagram,
7. regulační diagram (3, s. 191).

Pořadí těchto nástrojů naznačuje nejčastější posloupnost jejich používání při řešení problémů s jakostí.

Prvním nástrojem je *vývojový diagram*, který slouží k dokonalému poznání analyzovaného procesu a identifikaci jeho dílčích kroků, vstupů, výstupů a vzájemné provázanosti jednotlivých činností. Toto dokonalé poznání analyzovaného procesu se promítá do zvýšené efektivnosti aplikace dalšího nástroje (3, s. 192).

Druhý nástroj *diagram příčin a následků* je základním nástrojem analýzy všech možných příčin řešeného problému. Identifikace příčin je důležitá pro plánování sběru údajů, které potřebujeme pro sledování řešeného problému a pro vyhodnocení míry působení jednotlivých příčin. Shromážděné informace z tohoto diagramu jsou důležitým podkladem pro přípravu následujícího nástroje (3, s. 192).

Třetím nástrojem je *formulář (záznamník) pro sběr údajů*. Tyto formuláře slouží k systematickému shromažďování potřebných dat pro řízení a zlepšování jakosti. Takto shromážděná data se využívají pro hodnocení stávajícího stavu procesů a pro stanovení oblasti dalšího zlepšování. Formuláře nemusí mít vždy papírovou podobu, ale mohou být zpracovány v elektronické podobě (3, s. 197).

Čtvrtý nástroj *Paretův diagram* je důležitý pro manažerské rozhodování, neboť umožňuje určit priority problémům s jakostí tak, aby došlo k efektivnímu využívání zdrojů pro dosažení maximálního efektu. Tento nástroj je též velmi vhodný pro názorné grafické zobrazení problému (3, s. 200).

Pátým nástrojem je *histogram*, který poskytuje důležité informace o charakteru rozdělení sledovaného znaku jakosti a umožňuje identifikovat příčiny jeho variability. Jedná se o sloupcový diagram, který znázorňuje rozdělení četnosti hodnot ve vhodně určených intervalech (třídách). Považuje se za základní grafický nástroj pro hodnocení shromážděných údajů (3, s. 206).

Šestý nástroj *bodový diagram* slouží k analýze míry vlivu jednotlivých faktorů na výskyt řešeného problému. Tato grafická metoda posuzuje vzájemnou souvislost mezi dvěma znaky jakosti výrobku, souvislosti mezi určitými znaky jakosti a parametry procesu nebo posuzuje, do jaké míry údaje měřidla odpovídají stanoveným referenčním hodnotám (3, s. 210).

Sedmým nástrojem je *regulační diagram*. Tento grafický nástroj umožňuje detailnější analýzu naměřených údajů a s jeho pomocí lze odlišit variabilitu procesu vyvolanou vymezitelnými příčinami od variability, která je vyvolaná náhodnými příčinami. Uvedené rozlišení je důležité pro stanovení vhodných nápravných opatření ke zlepšování jakosti. Tento nástroj je též základním nástrojem statistické regulace procesu (3, s. 212). Tato diplomová práce se bude tímto nástrojem dále podrobněji zabývat.

1.2 Statistické pojmy

V této části jsou vysvětleny statistické pojmy, které se vztahují ke statistické regulaci procesu.

Znak je vlastnost, která slouží k identifikaci nebo rozlišení mezi produkty v daném základním souboru. *Znak jakosti* je charakteristika, která identifikuje určitou vlastnost produktu, která souvisí s jeho jakostí. Komplexní znak jakosti může mít i více vlastností (4, s. 20).

Statistické znaky vyjadřují vlastnosti statistických jednotek. Lze je rozdělit na znaky:

- kvantitativní,
- kvalitativní.

Znaky kvantitativní jsou rozlišitelné měřením a dělí se dále na znaky:

- *spojité*, které mohou nabývat v rámci určitého intervalu libovolných hodnot (např. rozměr v mm, doba v s, náklady v Kč);
- *diskrétní*, které mohou nabývat jen některých číselných hodnot (např. počet vad na určité ploše, počet zmetků v sérii).

Znaky kvalitativní jsou rozlišitelné srovnáváním a dělí se dále na znaky:

- *nominální*, které lze pouze vyjmenovat (např. vymezení určitých druhů materiálu);
- *ordinální*, které mohou být uspořádány dle jejich velikosti (např. stupnice nejvyššího dosaženého vzdělání).

Statistickým souborem nazýváme množinu všech statistických jednotek, u kterých se zkoumají příslušné statistické znaky. Pokud se zjišťuje u každé statistické jednotky pouze jeden statistický znak, pak se tento soubor nazývá *souborem jednorozměrným*. V případě zjišťování dvou či více znaků u každé statistické jednotky a současně jejich vzájemných vztahů, hovoříme o *souboru dvourozměrném*, resp. *vícerozměrném* (5, s. 15).

Základním souborem se nazývá statistický soubor všech jednotek, který sledujeme a u něhož chceme docházet k závěrům. Rozsah tohoto souboru je většinou velký a může být konečný nebo nekonečný. Z úsporných a časových důvodů se často provádí šetření výběrové, čímž se získá *výběrový soubor*, pomocí kterého lze provádět úsudky o základním souboru (5, s. 15).

Náhodná veličina je veličina, jejíž hodnota je jasně stanovena výsledkem náhodného pokusu. Reálná čísla jsou výsledkem většiny provedených náhodných pokusů. Rozlišují se dva základní druhy náhodné veličiny, a to *diskrétní (nespojité)* náhodná veličina a *spojitá* náhodná veličina (5, s. 60). Mezi nejčastěji používané charakteristiky náhodné veličiny patří střední hodnota a rozptyl. *Střední hodnota* popisuje polohu (úroveň) náhodné veličiny a *rozptyl* popisuje míru variability náhodné veličiny (5, s. 72).

1.2.1 Normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$

Nejdůležitějším pravděpodobnostním rozdělením je *normální rozdělení*, které se používá jako pravděpodobnostní model chování velkého množství náhodných jevů v různých oborech (např. ekonomii, technice). Příkladem normálního rozdělení je rozdělení náhodných chyb, které vznikly při měření nějaké veličiny. Opakovaným měřením stejné veličiny za stejných podmínek vznikají působením náhodných (nekontrolovatelných) vlivů odchylky od skutečné hodnoty měřené veličiny. Normální rozdělení je tak vhodným pravděpodobnostním modelem pro případy, kdy působí na kolísání náhodné veličiny velký počet nepatrných a vzájemně nezávislých vlivů (5, s. 84-85).

Hustota pravděpodobnosti normálně rozdělené náhodné veličiny je dána funkcí:

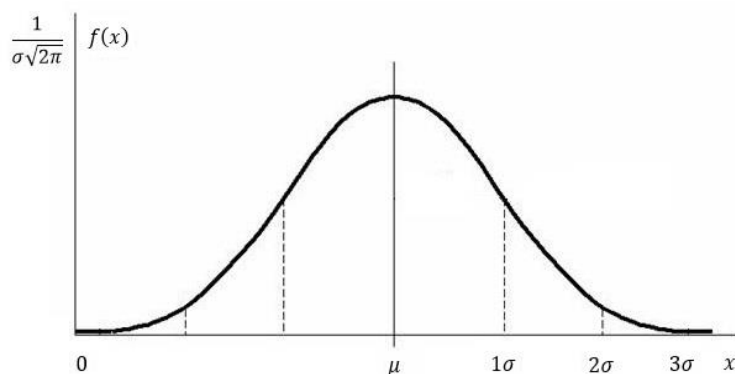
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ pro } x \in (-\infty, \infty). \quad (1.1)$$

Normální rozdělení má dvě charakteristiky μ a σ^2 . Střední hodnota μ charakterizuje polohu tohoto rozdělení a rozptyl σ^2 charakterizuje rozptýlení hodnot okolo této střední hodnoty (5, s. 85). Pak platí:

$$E(X) = \mu, \quad (1.2)$$

$$D(X) = \sigma^2. \quad (1.3)$$

Grafem hustoty pravděpodobnosti je tzv. Gaussova (Gaussova-Laplaceova) křivka, která je zobrazena na obr. 2.



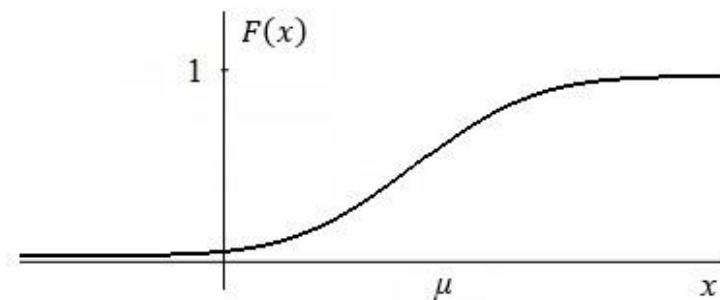
Obr. 2: Graf hustoty pravděpodobnosti (Zpracováno dle 5, s. 85)

Střední hodnota μ stanovuje místo, kde křivka dosahuje maxima. Směrodatná odchylka σ určuje vzdálenost inflexních bodů od hodnoty μ (5, s. 85).

Distribuční funkce normálního rozdělení má následující tvar:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \text{ pro } x \in (-\infty, \infty). \quad (1.4)$$

Graf distribuční funkce normálního rozdělení je zobrazen na obr. 3.



Obr. 3: Graf distribuční funkce (Zdroj: vlastní zpracování)

1.2.2 Empirické charakteristiky kvantitativního znaku

Mezi základní empirické charakteristiky kvantitativního znaku X patří:

- výběrový průměr \bar{x} ,
- výběrový rozptyl s^2 ,
- výběrová směrodatná odchylka s .

Tyto charakteristiky se vypočtou z datového souboru (x_1, x_2, \dots, x_n) pomocí následujících vzorců:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.5)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right], \quad (1.6)$$

$$s = \sqrt{s^2}. \quad (1.7)$$

Charakteristiky představují tzv. *bodové odhady* charakteristik náhodné veličiny X . Nejdůležitější z těchto empirických charakteristik je výběrový průměr \bar{x} , který je však citlivý na extrémně vysoké nebo nízké hodnoty v datovém souboru. V případě výskytu extrémních hodnot v datovém souboru se použijí jiné charakteristiky, které nejsou k odlehlým hodnotám citlivé. Mezi tyto charakteristiky patří zejména kvantily (6, s. 5-6)

Kvantil představuje hodnotu, která rozděluje soubor hodnot určitého statistického znaku na dvě části. První část obsahuje hodnoty, které jsou menší než tento kvantil. Druhá část naopak obsahuje hodnoty, které jsou větší (nebo stejné) než kvantil (5, s. 26).

1.3 Statistická regulace procesu

Kontrola jakosti výstupu z procesu je tradičním způsobem zabezpečování jakosti. Tento způsob zabezpečování jakosti je však neekonomický, neboť zdroje nutné k vyprodukování potřebného produktu již byly spotřebovány a v případě produktu, který nesplňuje požadavky, byly spotřebovány zbytečně (7, s. 165).

Moderním přístupem zabezpečování jakosti je předcházení zbytečnému spotřebovávání zdrojů potřebných k výrobě. Neustálým získáváním informací o chování procesu a jeho následnou analýzou můžeme preventivně působit na proces tak aby měl požadované vlastnosti (7, s. 165).

Preventivním nástrojem řízení jakosti je *statistická regulace procesu* (Statistical Process Control, zkráceně SPC). Tento nástroj umožňuje na základě včasného zjištění významných odchylek v procesu od předem určené úrovně vybraného znaku resp. znaků realizovat potřebné zásahy do průběhu procesu s cílem jeho dlouhodobého udržení na odpovídající a stabilní úrovni (7, s. 165).

1.3.1 Variabilita procesu

Statistické regulace procesu vychází z existence variability, která je důsledkem působení řady vlivů, jenž na proces působí. Tato variabilita způsobuje, že nelze vyrobit dva zcela stejné produkty. Můžeme však tyto vlivy zkoumat a vytvořit takové podmínky aby se variabilita procesu udržovala ve stanovených mezích a dalo se předpovědět budoucí chování procesu (7, s. 165).

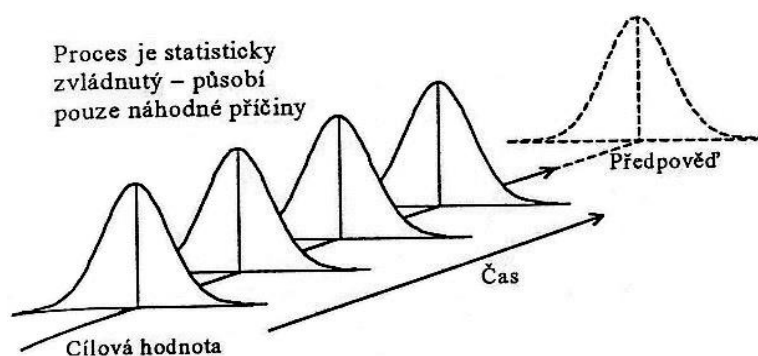
Snížením variability procesu většinou dochází k:

- stejnoměrnější výrobě,
- menší pravděpodobnosti výskytu neshodných výrobků,
- menšímu rozsahu kontroly a tím k nižším nákladům na kontrolu a zkoušení,
- nižším nákladům, které jsou vyvolané poruchami procesu, produkováním odpadu a kusy vyžadujícími přepracování,
- většímu počtu spokojených zákazníků (7, s. 165).

Variabilitu u procesu může být způsobena buď:

- náhodnými (přírozenými) příčinami,
- vymezitelnými (identifikovatelnými) příčinami.

Náhodné příčiny tvoří velkou skupinu jednotlivě neidentifikovatelných vlivů, z nichž každý sám o sobě přispívá k celkové variabilitě procesu menší vahou a nepřevyšuje ostatní. Pokud na proces působí pouze tato skupina vlivů, můžeme tento proces charakterizovat jako reprodukovatelný s předvídatelnou jakostí výstupu. Proces je též ve statisticky zvládnutém stavu (viz obr. 4), což znamená, že známe parametry rozdělení znaku jakosti či parametru procesu, pomocí kterých hodnotíme variabilitu procesu, a nedochází ke změně těchto parametrů. Tyto příčiny je často obtížné identifikovat (7, s. 165).



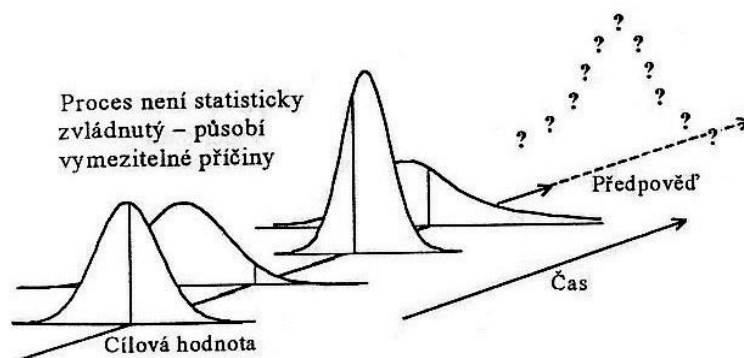
Obr. 4: Náhodné příčiny variability (Zdroj: 7, s. 167)

Mezi náhodné příčiny můžeme zařadit:

- špatnou kvalitu materiálu,
- chvění stroje,
- vlhkost a teplota ovzduší,
- momentální psychický stav pracovníka (8, s. 2).

Vymezitelné příčiny tvoří skupinu vlivů, které za normálních podmínek na proces nepůsobí. Tyto vlivy pomoci, kterých variabilitu procesu hodnotíme, způsobují reálné změny procesu, které se projevují v nepřírozeném kolísání údajů. Pokud na proces působí i tyto příčiny, můžeme jej charakterizovat jako nereprodukovatelný s nepředvídatelnou jakostí výstupu. Proces též není ve statisticky zvládnutém stavu

(viz obr. 5), což znamená, že v čase dochází ke změně v typu a parametrech rozdělení znaku jakosti či parametru procesu (7, s. 166).



Obr. 5: Vymezitelné příčiny variability (Zdroj: 7, s. 167)

Můžeme mezi ně zařadit následující vlivy:

- nesprávný materiál,
- změna v nastavení stroje,
- rozbitý nástroj nebo komponent,
- zadání nesprávných údajů,
- nezaškolená obsluha stroje (8, s. 3).

Vymezitelné příčiny můžeme dále dělit na:

- *příčiny sporadické*, ke kterým dochází náhle a vyvolané změny procesu mají krátkou životnost. Následně dochází k jejich ztracení a možnému opětovnému výskytu v budoucnosti;
- *příčiny přetrvávající*, které působí po delší dobu, mohou se měnit a vyvolat tak po určitou dobu trvající odchylky v parametrech rozdělení procesu (8, s. 2).

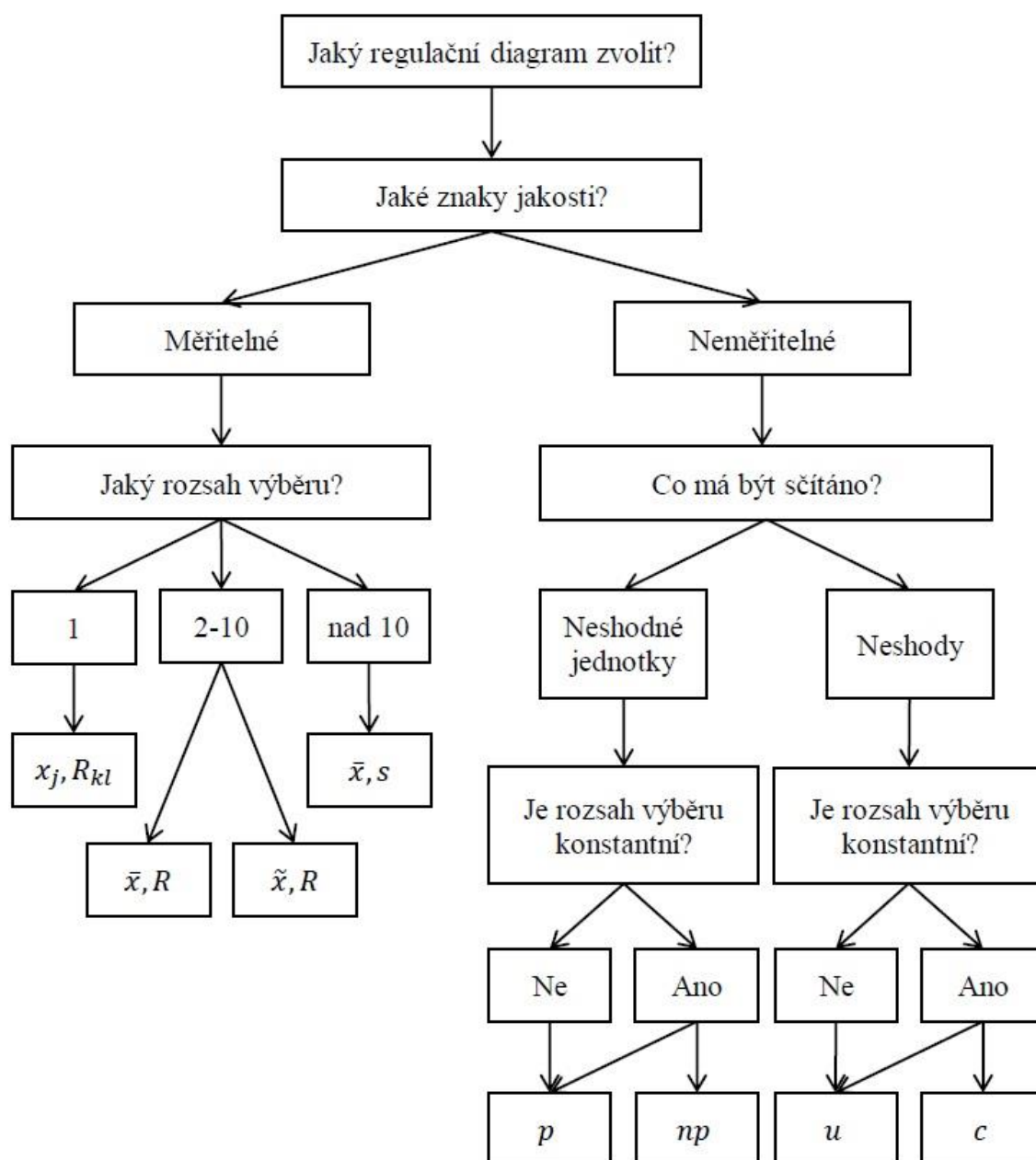
1.3.2 Fáze statistické regulace procesu

Dosažení a udržení procesu ve statisticky zvládnutém stavu je hlavním cílem statistické regulace procesu. Tento cíl se realizuje v následujících fázích:

1. fáze přípravná,
2. fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutosti procesu,
3. fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu,
4. fáze vlastní statistické regulace procesu (7, s. 167).

V první *přípravné fázi* se realizuje následující postup:

- identifikují se cíle statistické regulace;
- stanoví se znaky jakosti nebo parametry procesu, které budou reprezentovat regulovanou veličinu a jejichž hodnoty budeme zjišťovat a zaznamenávat;
- rozhodne se, jestli budeme sledovat na jednotlivých výrobcích jeden či více znaků jakosti;
- určí se kontrolní místa v procesu, aby došlo ke kontrole odchylky co nejdříve od jejího vzniku a minimalizovali se tak náklady na opravy a odpad;
- vybere se vhodná metoda pro získání vybraných hodnot zvoleného znaku jakosti či parametru procesu;
- stanoví se vhodná délka kontrolního intervalu, zvláště dle charakteru použité technologie, délky výrobního cyklu, obtížnosti provedení odběru jednotek do podskupiny;
- zvolí se vhodný způsob realizace výběru – logické podskupiny, která představuje takový výběr, v jehož rámci lze předpokládat působení pouze náhodných příčin;
- určí se vhodný rozsah výběru;
- vybere se vhodný typ regulačního diagramu např. pomocí schématu na obr. 6;
- připraví se sběr a záznam dat (7, s. 167–168).



Obr. 6: Rozhodovací schéma pro volbu regulačního diagramu (Zpracováno dle 7, s. 169)

Druhá fáze *zabezpečení statistické zvládnutosti procesu* má za cíl identifikovat vymezitelné příčiny a následně minimalizovat či odstranit jejich působení. Též je potřeba v této fázi vytvořit takové podmínky, aby k jejich působení již opakovaně nedocházelo (7, s. 168).

Ve třetí fázi *analýza a zabezpečení způsobilosti procesu* se zkoumá, zda statisticky zvládnutý proces též odpovídá požadavkům zákazníka. Tyto požadavky mohou být

stanoveny např. tolerančními mezemi. Pro tento účel se zde využívají indexy způsobilosti (7, s. 170).

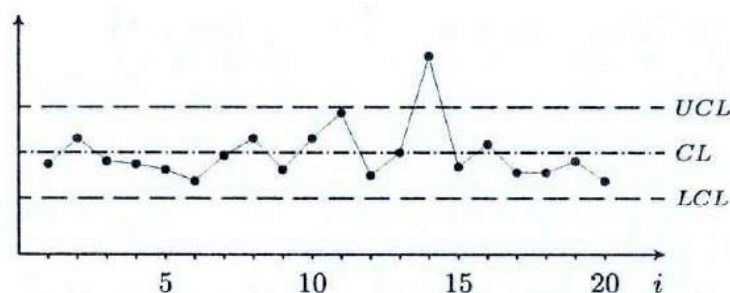
Cílem poslední fáze *vlastní statistická regulace procesu* je pomocí regulačního diagramu signalizovat, identifikovat a odstraňovat poruchy ve stabilitě procesu. Regulační diagramy využívají regulační meze, které byly stanoveny ve 2. fázi a zohledňují výsledky analýzy způsobilosti procesu. Regulační meze mají dlouhodobější charakter s platností trvání do doby, než dojde ke změně procesu. V této fázi tak udržujeme proces ve statisticky zvládnutém stavu (7, s. 170).

1.4 Principy regulačního diagramu

Regulační diagram je základním nástrojem statistické regulace procesu, který graficky zobrazuje vývoj variability procesu v čase. Popisuje statistickou zvládnutelnost procesu a dává signál o případném působení vymezipitelné příčiny. K rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu slouží tři základní přímky pojmenované *CL*, *LCL* a *UCL*, které jsou zobrazeny na obr. 7 (8, s. 4).

Střední přímka (CL) odpovídá tzv. referenční (požadované) hodnotě aplikované charakteristiky. Referenční hodnota může být definována jako nominální hodnota (např. technický předpis), hodnota založená na minulých zkušenostech s uvedeným procesem, případně jako odhad z hodnot regulované veličiny při statisticky zvládnutém procesu (8, s. 4-5).

Dolní (LCL) resp. horní (UCL) regulační meze definují pásmo, ve kterém působí pouze náhodné příčiny variability procesu. Představují základní rozhodovací kritérium, dle kterého se rozhoduje o případném regulačním zásahu do procesu. Z tohoto důvodu se též někdy nazývají jako akční meze (8, s. 5).



Obr. 7: Základní schéma regulačního diagramu (Zdroj: 8, s. 4)

V některých regulačních diagramech se definuje dále ještě *horní (UWL) a dolní (LWL) výstražná mez*. Takto vymezené pásmo má vždy užší rozsah (nejčastěji 2σ od *CL*) než pásmo, které je vymezeno dolní a horní regulační mezí (7, s. 171).

Regulační diagram interpretujeme dle následujícího pravidla:

- nachází-li se všechny body uvnitř vymezeného pásma *LCL* a *UCL*, pokládáme proces za statisticky zvládnutý a k žádnému zásahu do procesu nedojde;
- nachází-li se některý bod mimo vymezené pásmo *LCL* a *UCL*, pokládáme proces za statisticky nezvládnutý, je nutné identifikovat vymežitelnou příčinu odchylky a přijmout opatření pro jeho úplnou či částečnou eliminaci (7, s. 173).

Při použití výstražných mezí může dojít k dalším situacím:

- leží-li některý bod mezi *UWL* a *LWL*, pokládáme proces za statisticky zvládnutý a nezasahujeme do něj;
- leží-li některý bod mezi *UWL* a *UCL*, resp. mezi *LWL* a *LCL*, dojde k dalšímu výběru a jestliže se nový bod nachází mezi výstražnými mezemi, není potřeba do procesu zasahovat. Pokud však tento bod nadále leží mimo výstražné meze, působí na proces s velkou pravděpodobností vymežitelná příčina a je potřeba do něj zasáhnout (7, s. 173).

Členění regulačních diagramů

Regulační diagramy můžeme členit podle různých hledisek. Zde jsou uvedena některá z nich.

Dle hlediska *charakteru regulované veličiny* na:

- *regulační diagramy pro statistickou regulaci měřením*, které se použijí, je-li regulovaná veličina spojitou náhodnou veličinou;
- *regulační diagramy pro statistickou regulaci srovnáváním*, které se použijí, je-li regulovaná veličina diskrétní náhodnou veličinou.

Z hlediska *počtu znaků jakosti simultánně sledovaných na jedné jednotce ve výběru* na:

- regulační diagramy pro sledování jednoho znaku jakosti (klasické Shewhartovy diagramy),
- regulační diagramy pro sledování více znaků jakosti najednou (např. Hotellingův diagram).

Dle hlediska *stupeň opakovatelnosti procesu* na:

- regulační diagramy pro proces s vysokým stupněm opakovatelnosti (klasické Shewhartovy diagramy),
- regulační diagramy pro procesy s nízkým stupněm opakovatelnosti (např. standardizované a cílové diagramy).

Z hlediska *zohlednění předchozích hodnot výběrové charakteristiky ve výpočtu* na:

- regulační diagramy bez paměti (klasické Shewhartovy diagramy),
- regulační diagramy s pamětí (7, s. 175-176).

1.4.1 Shewhartovy regulační diagramy

Shewhartovy regulační diagramy řadíme mezi regulační diagramy bez paměti, což znamená, že aktuální hodnota použitého testového kritéria nebere v potaz předchozí hodnotu. Tyto klasické regulační diagramy jsou vhodné pro odhalování větších sporadických odchylek v procesu (větších než 2σ od CL). Jsou určeny pro pozorování pouze jednoho znaku jakosti. Základním předpokladem k jejich použití je možnost realizace dostatečného počtu výběrů. K výpočtu regulačních mezí je zapotřebí minimálně 20-25 výběrů při relativně stabilních podmínkách realizace procesu (7, s. 177).

Shewhartovy regulační diagramy dělíme na dva základní typy:

- regulační diagramy pro regulaci měřením,
- regulační diagramy pro regulaci srovnáváním.

Regulační diagramy pro regulaci měřením se využijí v situaci, kdy je regulovaná veličina měřitelná. Ke správné aplikaci těchto regulačních diagramů je zapotřebí splnění následujících předpokladů:

- data jsou symetrická a mají normální rozdělení,
- střední hodnota procesu je konstantní,
- rozptyl (směrodatná odchylka) dat je konstantní,
- data jsou nezávislá,
- nejsou přítomny hodnoty, jenž vybočují (9, s. 107-108).

Než dojde k výběru regulačního diagramu, je nutné ověřit tyto předpoklady pomocí testů statistických hypotéz. V případě nesplnění některého z předpokladů, je nutné

zvolit jiný typ regulačního diagramu, který splňuje tyto požadavky. Pokud jsou uvedené předpoklady splněny, dojde ke zvolení takového regulačního diagramu pro regulaci měření, který zároveň sleduje stabilitu polohy a zároveň stabilitu stejnoměrnosti procesu (7, s. 179-180).

Mezi regulační diagramy pro regulaci měření patří diagramy označené (\bar{x}, R) , (\bar{x}, s) a $(x_i, R_{kl,i})$. Stabilita polohy procesu se může samostatně sledovat pomocí některého z regulačních diagramů, který se nachází na prvním místě v uvedené dvojici. Míru stejnoměrnosti rozptylu procesu lze samostatně sledovat pomocí některého z regulačních diagramů, který je uveden na druhém místě v této dvojici (8, s. 8).

Regulační diagramy pro regulaci srovnáváním se použijí v případě sledování počtů neshodných výrobků resp. počtů neshod na těchto výrobcích. Tyto diagramy pracují s diskrétní náhodnou proměnnou. Dělí se do dvou následujících skupin:

- regulační diagramy pro počet neshod,
- regulační diagramy pro počty neshodných jednotek.

Pokud se zjišťuje počet neshod na jednotlivých výrobcích, použijí se regulační diagramy pro počet neshod (označeny jako c) nebo regulační diagramy pro počet neshod na jednotku (označeny jako u). Pomocí těchto regulačních diagramů se může například kontrolovat počet vad (skvrn) na rolích papíru (7, s. 195).

V případě zjišťování počtů neshodných výrobků ve výběru, se použijí regulační diagramy pro počet neshodných produktů ve výběru (označeny jako np) nebo regulační diagramy pro podíl neshodných produktů ve výběru (označeny jako p). Mohou být například využity pro kontrolu výrobní linky, která produkuje sérii určitých výrobků (8, s. 9).

1.4.2 Regulační diagramy (x_i, R_{kl})

Tato dvojice diagramů pro individuální hodnoty (x_i) a klouzavá rozpětí ($R_{kl,i}$) se využívá v případech, kdy není možno kvůli ekonomickým a technickým podmínkám uskutečnit výběry většího rozsahu než $n=1$. Jedná se většinou o situace, kdy jsou náklady kontroly jedné jednotky vysoké (např. destruktivní zkoušky), doba získání jedné hodnoty regulované veličiny je příliš dlouhá nebo je testovaný výrobek příliš homogenní (7, s. 187).

Jelikož se u těchto regulačních diagramů zjišťuje pouze jedna hodnota x_i zkoumaného znaku jakosti (vybraná z i -té logické podskupiny), využije se klouzavé rozpětí (R_{kl}) jako charakteristika rozptylu hodnot měřeného znaku (8, s. 19).

Uvedené *klouzavé rozpětí* se vypočte pomocí vzorce:

$$R_{kl,i} = |x_i - x_{i-1}|, \quad i = 2, 3, \dots, k. \quad (1.8)$$

Následně se z těchto klouzavých rozpětí určí *průměrné klouzavé rozpětí* dle následujícího vzorce:

$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i}. \quad (1.9)$$

Regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Tento regulační diagram je citlivý na odchylky rozdělení regulované veličiny od normálního rozdělení a je proto doporučeno před výběrem tohoto diagramu ověřit normalitu dat. V případě tohoto regulačního diagramu se zakreslují jednotlivé hodnoty x_i (7, s. 187).

Střední příčka CL je určena vzorcem:

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i. \quad (1.10)$$

Regulační meze $UCL(x_i)$ a $LCL(x_i)$ pro stanovené $\alpha=0,0027$ jsou vypočteny dle vzorců:

$$UCL = \bar{x} + u_{0,99865} \cdot \hat{\sigma}_0, \quad (1.11)$$

$$LCL = \bar{x} - u_{0,99865} \cdot \hat{\sigma}_0, \quad (1.12)$$

kde $u_{0,99865}$ představuje 99,865% kvantil normovaného normálního rozdělení (7, s. 188).

Odhad $\hat{\sigma}_0$ se určí pomocí vzorce:

$$\hat{\sigma}_0 = \frac{\bar{R}_{kl}}{d_2}, \quad (1.13)$$

kde d_2 představuje tzv. Hartleyovu konstantu pro $n=2$ (viz příloha č. 1) a \bar{R}_{kl} již uvedené průměrné klouzavé rozpětí (8, s. 20).

Dosazením vzorce (1.13) za $\hat{\sigma}_0$ do předchozích vzorců pro výpočet akčních mezí dostaneme následující regulační meze pro individuální hodnoty x_i :

$$UCL = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl}, \quad (1.14)$$

$$LCL = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl}, \quad (1.15)$$

kde hodnota 2,66 je výsledkem vzorce $3/d_2$ pro $n=2$. Tato hodnota je v normě ČSN ISO 8258 uváděna jako E_2 (7, s. 189).

Regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

U tohoto regulačního diagramu je zapotřebí dát pozor při interpretaci trendů, neboť jsou hodnoty klouzavých rozpětí (R_{kl}) závislé, což znamená, že dvě po sobě následující hodnoty klouzavého rozpětí v sobě vždy zahrnují jednu společnou naměřenou hodnotu. V případě tohoto regulačního diagramu se zakreslují jednotlivé hodnoty klouzavého rozpětí $R_{kl,i}$, které se vypočtou dle vzorce (1.8).

Konstrukce CL , LCL a UCL vychází ze stejných předpokladů jako u předchozího diagramu. Jejich vzorce vypadají následovně:

$$CL = \bar{R}_{kl}, \quad (1.16)$$

$$UCL = D_4 \cdot \bar{R}_{kl}, \quad (1.17)$$

$$LCL = D_3 \cdot \bar{R}_{kl}, \quad (1.18)$$

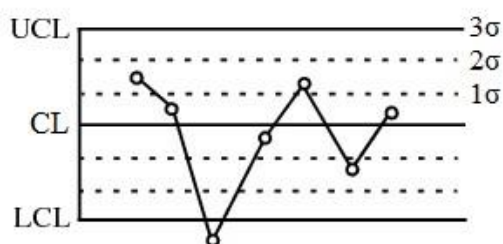
kde konstanty D_3 a D_4 představují hodnoty z tabulky součinitelů pro $n=2$. Tyto hodnoty (viz příloha 1) jsou uvedeny v normě ČSN ISO 8258. (7, s. 188-189).

1.4.3 Testy nenáhodných seskupení

Shewhartovy regulační diagramy používají též další kritéria (testy nenáhodných seskupení) pro rozhodnutí o statistické zvládnutosti procesu. Pomocí těchto testů nenáhodných seskupení se rozhodne o skrytém působení vymežitelných příčin. V následujících osmi případech je zapotřebí uvažovat o regulačním zásahu, neboť v každé situaci dochází k poruše určitého druhu (9, s. 117).

Pravidlo 1. Jedna hodnota je mimo regulační meze

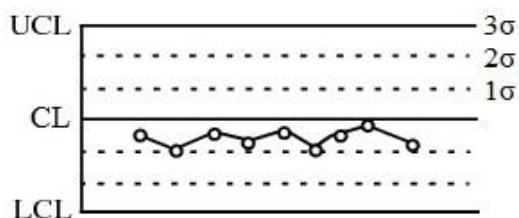
Jako vymežitelná příčina zde může působit lokální porucha procesu, chybné měření nebo výpadek ve výrobě. Mohou být špatně nastavené regulační meze nebo může být malá variabilita uvnitř podskupiny při konstrukci diagramu. Pokud se hodnota opakuje na jedné straně, může se jednat o posunutí střední hodnoty nebo o asymetrické rozdělení dat. Dochází-li k opakování hodnoty na obou stranách, může se jednat o zvýšení nestability nebo rozptylu dat. Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 8 (9, s. 118).



Obr. 8: Příklad pravidla 1 (Zpracováno dle 3, s. 221)

Pravidlo 2. 9 hodnot je na téže straně od CL

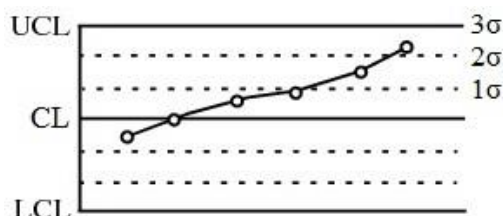
V tomto případě došlo pravděpodobně k posunutí střední hodnoty, snížení variability mezi podskupinami nebo k asymetrii dat. Mohou být příliš široce nastaveny regulační meze nebo nemusí přímo odpovídat požadavkům. Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 9 (9, s. 118).



Obr. 9: Příklad pravidla 2 (Zpracováno dle 3, s. 221)

Pravidlo 3. 6 hodnot monotónně roste či klesá

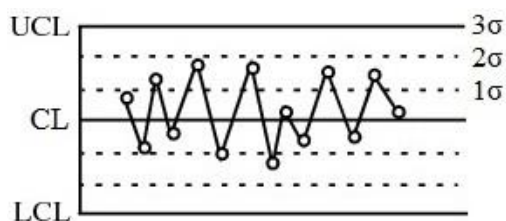
Zde se může jednat o autokorelovaný proces a měření jsou tak závislá. K lineárnímu trendu může dojít opotřebením nástroje nebo výpadkem ve výrobě. Mohou být příliš široce nastaveny regulační meze. Eliminací přiřaditelné příčiny může dojít ke zvýšení indexu C_p . Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 10 (9, s. 118).



Obr. 10: Příklad pravidla 3 (Zpracováno dle 3, s. 221)

Pravidlo 4. 14 alternujících hodnot

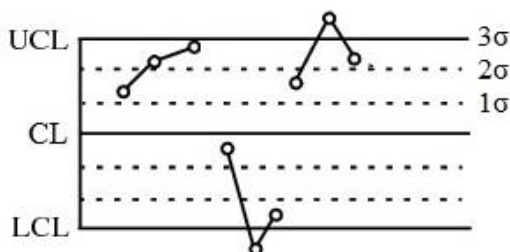
V tomto případě může být proces přeregulovaný nebo nestabilní. Měření mohou být autokorelována (závislá). Alternující hodnoty mohla způsobit vymyšlená čísla nebo podvádějící operátor. Eliminací přiřaditelné příčiny může dojít ke zvýšení indexu C_p . Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 11 (9, s. 118).



Obr. 11: Příklad pravidla 4 (Zpracováno dle 3, s. 221)

Pravidlo 5. 2 z 3 hodnot je mimo interval $\pm 2\sigma$

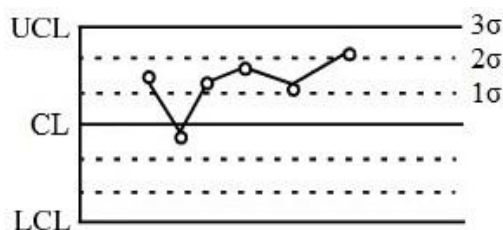
Tato situace varuje před možným překročením regulačních mezí. Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 12 (9, s. 118).



Obr. 12: Příklad pravidla 5 (Zpracováno dle 3, s. 221)

Pravidlo 6. 4 z 5 hodnot mimo interval $\pm\sigma$ na téže straně CL

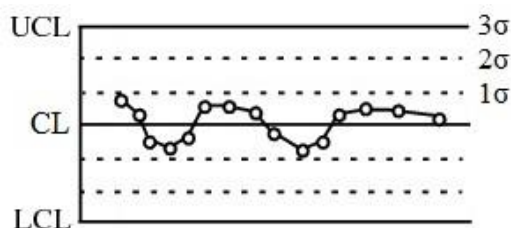
Zde došlo pravděpodobně k posunutí střední hodnoty. Tato situace též varuje před možným překročením regulačních mezí. Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 13 (9, s. 118).



Obr. 13: Příklad pravidla 6 (Zpracováno dle 3, s. 221)

Pravidlo 7. 15 hodnot je uvnitř intervalu $\pm\sigma$

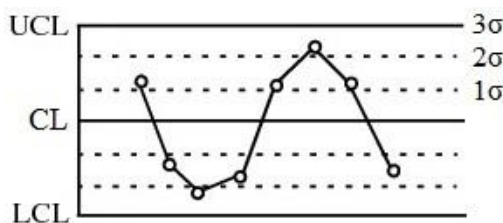
V tomto případě došlo ke snížení variability mezi podskupinami. Je třeba přemýšlet o nových regulačních mezích při opakování. Mohou být nesprávně zvoleny regulační meze, operátor mohl při měření podvádět nebo byla čísla vymyšlena. Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 14 (9, s. 118).



Obr. 14: Příklad pravidla 7 (Zpracováno dle 3, s. 221)

Pravidlo 8. 8 hodnot je mimo interval $\pm\sigma$ na obou stranách CL

Zde došlo ke zvýšení variability mezi podskupinami. Tato situace varuje před možným překročením regulačních mezí a indikuje poruchu v procesu. Příklad tohoto pravidla je uveden na obr. 15 (9, s. 118).



Obr. 15: Příklad pravidla 8 (Zpracováno dle 3, s. 221)

1.5 Hodnocení způsobilosti procesu

Způsobilost je důležitou charakteristikou výrobního procesu. Jedná se o schopnost trvale vyhovovat předem stanoveným kritériím jakosti. K dodržení požadované jakosti výrobku je zapotřebí sledovat schopnost procesu udržet tzv. cílovou hodnotu sledovaného ukazatele a míru variability kolem této cílové hodnoty.

Způsobilost výrobního procesu je vhodné vyjádřit kvantitativním (číselným) ukazatelem, jenž je jednoduchý, srozumitelný, názorný a má dobrou vypovídací hodnotu. Dále by měl být univerzální, což znamená, že by měl mít co nejméně omezujících podmínek pro jeho využití.

Kvantitativní (číselné) ukazatele se v případě hodnocení způsobilosti procesu nazývají jako tzv. *indexy způsobilosti*. Jedná se o bezrozměrná čísla, která globálně popisují míru dosahování požadované úrovně jakosti sledovaného znaku procesu či výrobku (7, s. 271).

Mezi nejpoužívanější indexy způsobilosti patří indexy označené jako C_p , C_{pk} , C_{pm} a C_{pmk} . K jejich použití je zapotřebí splnění následujících předpokladů:

- proces je statisticky kontrolován (stabilizován),
- pozorovaný znak jakosti je spojitou náhodnou veličinou a má normální rozdělení se střední hodnotou μ a směrodatnou odchylkou σ ,
- je správně stanovena tolerance pro sledovaný znak jakosti (8, s. 37).

Tyto indexy způsobilosti se obecně sestavují jako poměr předepsané a skutečně dosahované přesnosti sledovaného znaku jakosti. Větší hodnoty těchto indexů jsou tedy příznivější.

Předepsanou přesnost představují toleranční meze, které ohraničují interval požadovaného výskytu sledovaného znaku a cílová hodnota, která reprezentuje jeho požadovanou hodnotu. Pokud budou zadány regulační meze (LSL , USL) a cílová hodnota T , pak interval (LSL , USL) představuje toleranční interval (8, s. 37).

Skutečně dosahovaná přesnost je znázorněna rozptylem náhodné veličiny, která reprezentuje sledovaný znak. 99,73 % hodnot tohoto znaku leží dle tzv. pravidla tří sigma v intervalu $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ o šířce 6σ (8, s. 37).

Uvedené základní indexy způsobilosti se rozdělují, jak se postupně vyvíjely, do následujících generací:

- a) Indexy I. generace: C_p ,
- b) Indexy II. generace: C_{pk} a C_{pm} ,
- c) Indexy III. generace: C_{pmk} .

Indexy II. generace C_{pk} resp. C_{pm} byly vytvořeny jako vylepšení indexu C_p . U indexů C_{pk} resp. C_{pm} došlo ke zlepšení v čitateli resp. jmenovateli. Index III. generace C_{pmk} v sobě spojil dobré vlastnosti (zlepšení v čitateli resp. jmenovateli) indexů C_{pk} a C_{pm} (7, s. 302).

1.5.1 Index způsobilosti C_p

Nejstarším a nejjednodušším indexem způsobilosti je index C_p . Tento index při své konstrukci předpokládá, že je sledovaný proces *centrován*, tj. střední hodnota μ sledovaného znaku jakosti se nachází uprostřed tolerančních mezí. Podstatou konstrukce tohoto indexu je porovnání délky tolerančního intervalu (LSL, USL) s délkou 6σ . Porovnává se tedy délka intervalu, ve kterém by měli být všechny hodnoty sledovaného znaku a délka intervalu kde se tyto hodnoty nachází (8, s. 38).

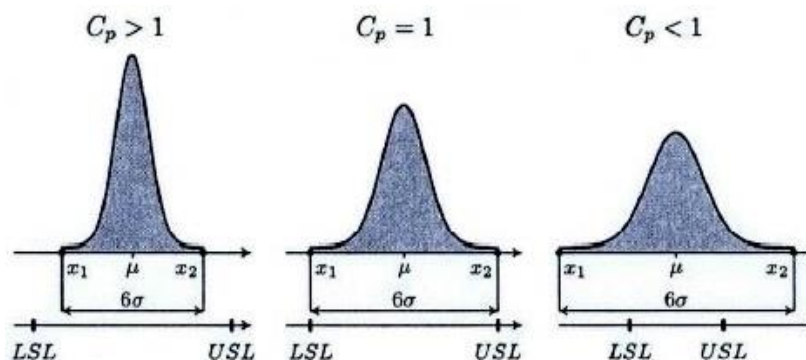
Index způsobilosti C_p je vyjádřen následujícím vzorcem:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}. \quad (1.19)$$

Výsledné hodnoty indexu způsobilosti C_p interpretujeme následovně:

- Je-li $C_p < 1$, pak dosahovaná přesnost je menší než předepsaná a proces je tudíž z hlediska sledovaného znaku nezpůsobilý.
- Je-li $C_p = 1$, pak dosahovaná přesnost je rovna předepsané a proces je z hlediska sledovaného znaku způsobilý. Dojde-li však i k malému zvětšení směrodatné odchylky σ , stane se proces nezpůsobilým.
- Je-li $C_p > 1$, pak dosahovaná přesnost je větší než předepsaná a proces je tedy z hlediska sledovaného znaku způsobilý (8, s. 38).

Význam uvedených hodnot indexu C_p je zobrazen na obr. 16.



Obr. 16: Příklady hodnot indexu C_p (Zdroj: 8, s. 38)

Vzdálenost o délce 6σ mezi kvantily x_1 a x_2 vymezuje interval, ve kterém leží 99,73 % všech hodnot sledovaného znaku jakosti. V levém grafu ($C_p > 1$) došlo k situaci, kdy vzdálenost mezi tolerančními mezemi je větší než délka 6σ . Vzdálenost mezi tolerančními mezemi u prostředního grafu ($C_p = 1$) odpovídá délce 6σ . U pravého grafu ($C_p < 1$) je vzdálenost mezi tolerančními mezemi menší než délka 6σ .

Hlavním nedostatkem tohoto indexu je, že nebere v potaz stav, kdy není proces centrován, tedy střední hodnota sledovaného znaku se nenachází uprostřed tolerančního intervalu. Nastane-li tato situace, je vhodnější použít následující index způsobilosti C_{pk} (8, s. 39-40).

1.5.2 Index způsobilosti C_{pk}

Index způsobilosti C_{pk} bere v potaz při své konstrukci jak směrodatnou odchylku, tak polohu střední hodnoty μ sledovaného znaku jakosti. V případě tohoto indexu se posuzuje vzdálenost střední hodnoty proti jednotlivým tolerančním hranicím intervalu (8, s. 40).

Index způsobilosti C_{pk} je vyjádřen následujícím vzorcem:

$$C_{pk} = \min\{C_{pu}; C_{pl}\}, \quad (1.20)$$

kde:

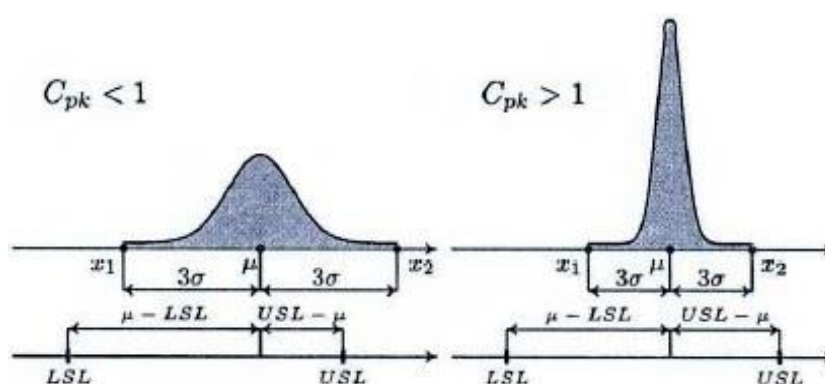
$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \quad (1.21)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}. \quad (1.22)$$

Pokud není proces stabilizován, bude hodnota tohoto indexu záporná. Znamenalo by to, že se střední hodnota procesu nachází mimo regulační meze a v takovém případě se záporná hodnota C_{pU} resp. C_{pL} položí rovna nule (9, s. 137).

Výsledná hodnota indexu se interpretuje stejně jako u předchozího indexu C_p . S modernizací výroby a rozvojem technologií rostou požadavky na minimální hodnotu tohoto indexu, při které je proces stále ještě brán jako způsobilý. V současnosti se nejčastěji požaduje, aby tento index dosahoval alespoň hodnoty 1,33. Některé firmy mají ještě přísnější požadavky na hodnotu tohoto indexu (8, s. 40).

Význam hodnot indexu C_{pk} je zobrazen na obr. 17.



Obr. 17: Příklady hodnot indexu C_{pk} (Zdroj: 8, s. 41)

U levého grafu ($C_{pk} < 1$) přesahuje kvantil x_2 horní hranici (USL) tolerančního intervalu a tedy C_{pU} bude menší než jedna. Naopak kvantil x_1 se nachází vpravo od dolní hranice (LSL) tolerančního intervalu a proto C_{pL} bude větší než jedna. Jelikož minimální hodnota z uvedené dvojice čísel je menší než jedna, bude hodnota indexu způsobilosti $C_{pk} < 1$. Proces bude tedy nezpůsobilý.

Na pravém grafu ($C_{pk} > 1$) se nacházejí kvantily x_1 a x_2 uvnitř tolerančního intervalu a tedy hodnoty C_{pL} a C_{pU} , jsou větší než jedna. Tudíž bude hodnota indexu způsobilosti $C_{pk} > 1$ a proces bude způsobilý (8, s. 40).

Index C_{pk} je schopen upozornit na nedodržení stanovené cílové hodnoty T , při nezměněné hodnotě směrodatné odchylky σ . Dochází totiž k zhoršování indexu C_{pk} při vzdalování střední hodnoty μ sledovaného znaku od požadované cílové hodnoty T , při nezměněné hodnotě σ . Index nezachytí nedodržení cílové hodnoty T v případě, kdy

je odchylka střední hodnoty μ sledovaného znaku od cílové hodnoty T kompenzována zmenšováním směrodatné odchylky σ (8, s. 41).

Pokud zjistíme, že je proces dle hodnot indexů C_p a C_{pk} nezpůsobilý, je potřeba přijít na příčinu nezpůsobilosti. Tato nezpůsobilost procesu může být způsobena:

- posunutím hodnot znaku jakosti vůči středu tolerančního intervalu,
- vysokou variabilitou sledovaných znaků jakosti.

Posunutí hodnot znaku jakosti lze odstranit správným seřízením procesu (např. výrobního zařízení) vůči středu tolerančního intervalu.

V případě *vysoké variability* pozorovaného znaku je nutné snížit tuto variabilitu a to buď změnou použité technologie výroby, nebo změnou výrobního zařízení. Před tímto citelným zásahem do výroby je však nutné zkontrolovat zda vysoká variabilita hodnot sledovaného znaku jakosti není zapříčiněna špatným způsobem měření či nevhodným měřidlem (8, s. 41-42).

1.5.3 Index způsobilosti C_{pm}

Index způsobilosti C_{pm} využívá při své konstrukci parametry sledovaného znaku jakosti (střední hodnotu μ a směrodatnou odchylku σ), toleranční meze (LSL , USL) a cílovou hodnotu T . Bere též v potaz rozdíl mezi střední hodnotou μ a cílovou hodnotou T (8, s. 42).

Index způsobilosti C_{pm} je vyjádřen následujícím vzorcem:

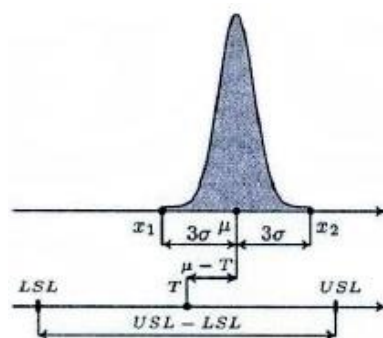
$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tau}, \quad (1.23)$$

kde:

$$\tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2. \quad (1.24)$$

Parametr τ vyjadřuje rozptyl hodnot sledovaného znaku jakosti kolem cílové hodnoty T . Index způsobilosti C_{pm} je na rozdíl od předchozího indexu C_{pk} vždy kladný a dosahuje vždy menších hodnot, neboť je přísnější (9, s. 139).

Index C_{pm} je zobrazen na obr. 18.



Obr. 18: Příklad indexu C_{pm} (Zdroj: 8, s. 43)

1.5.4 Index způsobilosti C_{pmk}

Posledním z uvedených indexů způsobilosti je index C_{pmk} . Tento index využívá při své konstrukci stejně jako u předchozího indexu parametry sledovaného znaku jakosti (střední hodnotu μ a směrodatnou odchylku σ), toleranční meze (LSL , USL) a cílovou hodnotu T . Naproti indexu C_{pm} posuzuje polohu střední hodnoty proti tolerančním mezím (8, s. 42). Index je tedy vhodný pro situace, kdy se střední hodnota procesu liší od předepsané hodnoty.

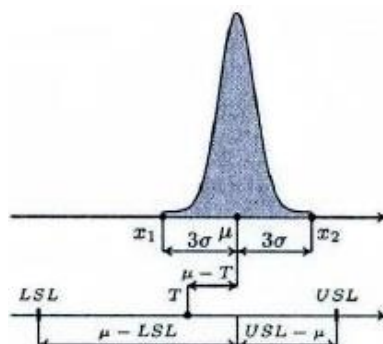
Index způsobilosti C_{pmk} je definován následujícím vzorcem:

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau} \right\}, \quad (1.25)$$

kde:

$$\tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2. \quad (1.26)$$

Index C_{pmk} je zobrazen na obr. 19.



Obr. 19: Příklad indexu C_{pmk} (Zdroj: 8, s. 43)

2 ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE

2.1 Představení společnosti

Společnost P & L, spol. s r. o. je úspěšnou a rychle se rozvíjející českou firmou. Již 25 let se zabývá výrobou, prodejem a servisem zemědělské, komunální a lesní techniky. Ve svém oboru má bohaté zkušenosti a patří v něm k největším prodejcům u nás. Zakládá si na spolehlivém a osobním přístupu ke svým zákazníkům. Toto ji umožňuje nejen vyspělé technické zázemí, ale i spolehliví a profesionální pracovníci.

Na obr. 20 je zobrazeno logo společnosti.



Obr. 20: Logo společnosti (Zdroj: 10)

V tabulce 1 jsou uvedeny základní údaje o firmě.

Tab. 1: Základní údaje firmy (Zdroj: 11)

Obchodní firma	P & L, spol. s r. o.
Sídlo společnosti	Biskupice 206, Biskupice u Luhačovic, PSČ 76341
Identifikační číslo	003 51 504
Předmět podnikání	<ul style="list-style-type: none">• výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 až 3 živnostenského zákona• opravy silničních vozidel• opravy ostatních dopravních prostředků a pracovních strojů• kontrolní testování mechanizačních prostředků na ochranu rostlin• silniční motorová doprava - nákladní vnitrostátní provozovaná vozidly o největší povolené hmotnosti do 3,5 tuny včetně• nákladní vnitrostátní provozovaná vozidly o největší povolené hmotnosti nad 3,5 tuny
Datum vzniku společnosti	5. prosince 1990
Průměrný počet zaměstnanců	131

2.1.1 Portfolio společnosti

Portfolio společnosti zahrnuje zemědělskou, komunální, dopravní, lesní a hobby techniku. Společnost zastupuje a prodává širokou škálu značek zemědělské techniky (viz tabulka 2).

Tab. 2: Nabídka zemědělské techniky (Zdroj: 10)

Zemědělská technika		
Zastupuje značky:		Prodává značky:
AG LEADER	MULTIONE	AGRIO KREMŽE
BERGMANN	P&L ZEMĚDĚLSKÉ STROJE	BISO
ELHO	SAMPO ROSENLEW	BREDAL
KEMPER	TATRA	DEUTZ-FAHR
KINZE	VREDO	GRIMME
KIOTI	WIENHOFF	NEW HOLLAND
KÖCKERLING		

Společnost též zastupuje a prodává značky komunální techniky uvedené v tabulce 3.

Tab. 3: Nabídka komunální techniky (Zdroj: 10)

Komunální technika		
Zastupuje značky:	Prodává značky:	
KIOTI	ECO TECHNOLOGIES	SCHLIESING
MULTIONE	HILLTIP	TUCHEL
P&L KOMUNÁLNÍ	M.E.A.A.T.	WESTERN
	MAROLIN	ZAPPATOR
	S & C	

Z dopravní techniky firma nabízí techniku značky IVECO a TATRA. Z lesní techniky firma zastupuje značky SAMPO ROSENLEW a PALAX (štípací automaty), také prodává techniku značek HUSQVARNA (pily a křovinořezy) a KESLA (harvestorové hlavice, štípací hlavice a odvětvovací procesor). Z oblasti hobby techniky firma nabízí širokou škálu výrobků ve specializované prodejně, která se nachází ve Žďáře nad Sázavou.

2.1.2 Servis a náhradní díly

Společnost poskytuje rychlou dodávku náhradních dílů a velmi dbá na kvalitní a rychlý servis. Postupně byla vybudována obchodně servisní střediska ve Velkém Meziříčí, Hrubčicích u Prostějova, Kroměříži, Žďáru nad Sázavou, Šumperku a Osíku u Litomyšle. Tyto střediska mají celkovou plochu dílenských prostor více než 1800 m² a jsou moderně technicky vybavena. V současnosti servis zajišťuje více jak 45 servisních techniků, kteří mají k dispozici přes 35 servisních vozidel.

Mimo základního servisu společnost provádí i následující specializované služby:

- *pneuservis* pneumatik osobních i nákladních včetně prodeje širokého spektra pneumatik, ráfků a dvojmontáží;
- *testování a seřízení* secích strojů na kukuřici a slunečnici na specializované stolici;
- *testování* postřikovačů a rosičů specializovaným zařízením;
- *přestavby* postřikovačů všech značek;
- opravy soustav *klimatizace* strojů, kontrola, popř. doplnění chladiva do soustavy klimatizace.

Společnost nabízí široké spektrum náhradních dílů (originální díly a náhrady). Disponuje náhradními díly v celkové hodnotě přes 36,5 mil. Kč a ze zahraničí dopraví náhradní díly do 24 hodin. Společnost též poskytuje zákazníkům bezplatné poradenství.

2.1.3 Výroba

První zemědělské stroje z vlastní produkce byly vyrobeny v roce 2003 na středisku Hrubčice. Šlo o mežirádkový kultivátor PPL8. V roce 2007 se kompletní výroba firmy přestěhovala na středisko do Velkého Meziříčí. Zde má firma největší provozovnu a centrální sklad náhradních dílů. Výhodou je i dostatek moderního zázemí. Některé stroje mají unikátní technické řešení, a proto jsou patentově chráněné. Firma důsledně dbá na bezpečnost a spolehlivost vyrobených strojů a jejich provoz šetrný k životnímu prostředí.

Mezi hlavní činnosti výroby patří:

- vývoj na základě úzké spolupráce se zákazníky, výzkumnými institucemi a vysokými školami,
- výroba zemědělských strojů (PPL, MEKY, STP),
- výroba příslušenství pro komunální sektor,
- montážní práce,
- zámečnické práce,
- obrábění,
- povrchová úprava,
- testování strojů, před uvedením do provozu (10).

Ze zemědělské techniky firma vyrábí:

- kypřicí stroje na kukuřici, cukrovou řepu a jiné okopaniny v meziřádkové rozteči 30, 35 a 75 cm o záběru až 11,2 m (PPL a MEKY);
- secí stroje STP k obnově travních porostů, v záběru 3 m, 19 výsevních jednotek na základě bezorebné technologie přísevů pro setí a obnovu porostů;
- montážní práce secích strojů KINZE;
- rozmetadlo ROKI k rozmetání průmyslových hnojiv (10).

Pro komunální sektor firma vyrábí:

- zimní radlice v šířce 1,2 – 2,2 m s natáčením v ose v agregaci pro komunální techniku ROKI 150 a ROKI 250 nesené rozmetadlo soli, písku a tuhých, jehož komponenty přicházející do styku s posypovým materiálem jsou vyrobeny z nerezové oceli tř. AISI 420, hlavní rám je ošetřen žárovým zinkem a následnou povrchovou úpravou práškovou barvou (komaxit);
- sestavy kropení pro zametací kartáče, samostatně nesené lišty určené pro kropení vozovky příp. zavlažování či postřik rostlin. (kropení, zavlažování, postřik rostlin) k tomu jsou vyráběny samostatně nesené nádrže o objemu 300 až 1800 litrů;
- kusovou výrobu na přání zákazníka (10).

2.2 Výrobní proces vybraných dílů

Pro účely této práce byly vybrány 3 výrobní procesy dílů, které jsou součástí strojů MEKY 12 (18, 24) a PPL-6 (8, 12).

Prvním vybraným výrobním procesem je výroba *čepů závěsu* strojů MEKY 12 (18, 24). Meziřádkové kypřiče s aplikací kapalných minerálních hnojiv do půdy MEKY (viz obr. 21) jsou technicky a technologicky konstruovány pro meziřádkové kypření polních plodin (cukrovky, kukuřice, řepky, zeleniny a dalších) v době vegetace. Stroj je technicky konstruován tak, aby mohl být dle potřeby uživatele agregován s traktorem buď jako tlačný v předním tříbodovém závěsu, nebo tažený v zadním tříbodovém závěsu. Tento stroj je výsledkem řešení projektu Technologické agentury ČR č. TA02021392 a vznikl ve spolupráci firmy P&L, spol. s r.o. s VÚMOP, v.v.i., VÚRV, v.v.i. a České zemědělské univerzity v Praze (10).



Obr. 21: Meziřádkový kultivátor MEKY a kultivátor PPL-8 ECOFERT (Zdroj: 10)

Druhým vybraným výrobním procesem je výroba *kroužku držáku* strojů MEKY 12 (18, 24).

Třetím vybraným výrobním procesem je výroba *hřídele pohonu* strojů MEKY 12 (18, 24) a PPL-6 (8, 12). Kultivátory PPL ECOFERT (viz obr. 21) jsou polonesené robustní stroje, které jsou určeny pro meziřádkovou kultivaci širokořádkových plodin (kukuřice, slunečnice) a umožňují aplikaci kapalných hnojiv (tzv. řízenou výživu). Tento kultivátor je konstrukčně řešen jako polonesený s pracovním záběrem 6-12 řádků (10).

2.2.1 Čep závěsu

Prvním popsáním výrobním procesem je výroba čepu závěsu pro připojení strojů MEKY 12 (18, 24) k traktoru. V příloze 2 je uveden technický výkres tohoto dílu. Výrobní postup je následující:

1. řezání kruhové oceli Ø35h11 na díly o délce 235 mm na pásové pile Pilous ARG 220 PLUS,
2. soustružení osazení čepu na Ø28h11 v délce 65 mm na soustruhu SV 18 RA,
3. sražení hran čepu 0,5x45° a 1x45° na soustruhu SV 18 RA,
4. vrtání dvou otvorů o Ø 8 mm na stolní sloupové vrtačce TOS Kuřim V20A,
5. vrtání otvoru o Ø 12 mm na stolní sloupové vrtačce TOS Kuřim V20A,
6. galvanické zinkování hotových kusů.

2.2.2 Kroužek držáku

Druhým popsáním výrobním procesem je výroba kroužku držáku. Tento díl slouží k navaření na hřídel hmatacího kola plecí jednotky strojů MEKY 12 (18, 24). V příloze 3 je uveden technický výkres tohoto dílu. Výrobní postup je následující:

1. řezání kruhové oceli Ø35 na díly o délce 18 mm na pásové pile Pilous ARG 220 PLUS,
2. vrtání otvoru o Ø18 na stolní sloupové vrtačce TOS Kuřim V20A,
3. soustružení otvoru na Ø20H11 na soustruhu SV 18 RA,
4. soustružení čel na šířku 16±0,1 mm na soustruhu SV 18 RA,
5. sražení hran 0,5x45° na soustruhu SV 18 RA.

2.2.3 Hřídel pohonu

Třetím popsáním výrobním procesem je výroba hřídele pro pohon čerpadla kapalného přihnojování strojů MEKY 12 (18, 24) a PPL-6 (8, 12). V příloze 4 je uveden technický výkres tohoto dílu. Výrobní postup je následující:

1. řezání šestihranné oceli 22h11 na díly o délce 155 mm na pásové pile Pilous ARG 220 PLUS,
2. soustružení osazení hřídele na Ø20k6 v délce 25 mm na soustruhu SV 18 RA,
3. sražení hrany 3x30° na soustruhu SV 18 RA,
4. vrtání otvoru o Ø6H12 na stolní sloupové vrtačce TOS Kuřim V20A,
5. galvanické zinkování hotových kusů.

2.2.4 Kontrola jakosti

Firma využívá tradiční metody zabezpečení jakosti zaměřené na následnou kontrolu již vyrobených dílů. Kontrola znaků jakosti se člení na vstupní, mezioperační a výstupní kontrolu.

Vstupní kontrola má za úkol vyloučit z výrobního procesu nekvalitní nebo nestandardní materiál. Standardní jakost materiálu je zabezpečena jeho nákupem od firem s certifikací ISO 9000. Přesto je základní materiál před uvolněním do výrobního procesu podroben vstupní kontrole. Pracovník provede povrchovou kontrolu materiálu a také zkontroluje jeho rozměr a tvar. Vyhovující materiál bude následně uvolněn k dalšímu zpracování.

Mezioperační kontrola má za úkol v každé etapě výrobního procesu ověřit jakost výrobku s ohledem na jeho specifické požadavky. Kontroluje též kvalitu vyrobených kusů na začátku výrobního procesu a kvalitu kusů vyrobených po seřízení stroje. Kusy, které nesplňují požadavky uvedené ve výrobní dokumentaci, nejsou uvolněny k dalšímu zpracování. Během výrobního procesu dochází ke kontrole kvality v určených kontrolních bodech u každého výrobního zařízení. Vždy dochází ke kontrole prvního vyráběného kusu a následně se kontroluje každý 4. kus ze série právě vyráběných dílů. Kontrolu kusů provede obsluha každého výrobního zařízení pomocí digitálního posuvného měřítka.

K *výstupní kontrole* dojde po skončení výrobního procesu. Vyrobené díly, které prošly výstupní kontrolou a vyhovují požadavkům, jsou převzaty na sklad, kde jsou připraveny pro výdej do výroby.

Kontrolovanými znaky jakosti jsou rozměry, které nejvíce ovlivňují technickou funkčnost jednotlivých dílů (např. správné uložení u čepu). Jsou to tedy:

- u čepu závěsu:
 - délka dílu $235 \pm 0,5$ mm,
 - osazení čepu $\varnothing 28 \pm 0,13$ mm.
- u kroužku držáku:
 - délka dílu $16 \pm 0,1$ mm,
 - otvor $\varnothing 20 \pm 0,13$ mm.

- u hřídele pohonu:
 - délka dílu $155 \pm 0,5$ mm,
 - osazení hřídele $\varnothing 20 \pm 0,02$ mm.

2.3 Aplikace regulačních diagramů

Pro aplikaci regulačních diagramů na vybrané díly je nutné stanovit parametry statistické regulace. Podrobný postup pro zavedení statistické regulace procesu byl již uveden v kapitole 2.3.2. V přípravné fázi statistické regulace výrobních procesů byly určeny následující parametry:

- *cílem statistické regulace* je udržení výrobních procesů ve statisticky zvládnutém stavu;
- *regulovanými znaky jakosti* jsou vybrané rozměry, které jsou uvedeny v technických výkresech;
- *kontrolní místa* jsou stanovena u každého výrobního zařízení;
- *metodou získání vybraných hodnot* je digitální posuvné měřítko;
- *délka kontrolního intervalu* je stanovena na každý 4. kus ze série právě vyráběných dílů;
- *rozsah výběru (velikost logické podskupiny)* je s ohledem na časovou náročnost kontrolní operace stanoven na $n=1$;
- *vhodným typem regulačního diagramu* je dle velikosti logické podskupiny (viz obr. 6) dvojice regulačních diagramů (x_i, R_{ki}) ;
- *příprava sběru a záznam dat* probíhá pomocí vytvořené aplikace v programu Microsoft Excel.

Regulační diagramy jsou aplikovány na následující rozměry vybraných dílů:

1. regulovaný znak – délka $235 \pm 0,5$ mm,
2. regulovaný znak – průměr $28 \pm 0,13$ mm,
3. regulovaný znak – délka $16 \pm 0,1$ mm,
4. regulovaný znak – průměr $20 \pm 0,13$ mm,
5. regulovaný znak – délka $155 \pm 0,5$ mm,
6. regulovaný znak – průměr $20 \pm 0,02$ mm.

2.3.1 Regulovaný znak jakosti 1

Prvním regulovaným znakem jakosti je délka čepu závěsu $235 \pm 0,5$ mm. K měření tohoto rozměru došlo u prvního vyráběného kusu a následně u každého 4. kusu. V tabulce 4 je uvedeno 25 naměřených hodnot regulovaného znaku nutných pro výpočet regulačních diagramů. Při regulaci měřením se doporučuje minimálně 20-25 podskupin, proto byla velikost výběru zvolena na 25 hodnot. Pořadové číslo podskupiny je označeno i , naměřené hodnoty x_i a vypočítaná klouzavá rozpětí R_{kl} . Klouzavé rozpětí vypočtené dle vzorce (1.8) se využije jako charakteristika rozptylu hodnot měřeného znaku.

Tab. 4: Naměřená data regulovaného znaku 1 v mm (Zdroj: vlastní zpracování)

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	235,21	234,89	235,13	234,99	234,87	234,90	235,20	235,12	234,89
R_{kl}	–	0,32	0,24	0,14	0,12	0,03	0,30	0,08	0,23
i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_i	235,11	235,03	234,96	235,22	235,15	234,88	235,11	235,19	234,96
R_{kl}	0,22	0,08	0,07	0,26	0,07	0,27	0,23	0,08	0,23
i	19	20	21	22	23	24	25		
x_i	235,08	234,89	234,99	235,17	234,98	234,88	235,04		
R_{kl}	0,12	0,19	0,10	0,18	0,19	0,10	0,16		

Z naměřených dat se vypočtou dle vzorců (1.5) a (1.7) základní empirické charakteristiky:

- výběrový průměr $\bar{x} = 235,034$ mm,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,121$ mm.

Než se přistoupí k sestrojení regulačních diagramů, je nutné ověřit, zda má základní datový soubor normální rozdělení. Není-li tento předpoklad splněn, nelze regulační diagramy použít. K ověření se použije Kolmogorovův-Smirnovův test. Tento test formuluje hypotézu, že základní soubor má normální rozdělení. Závěrem testu je buď přijetí hypotézy, nebo její zamítnutí. Formulovanou hypotézu pro tento datový soubor jsme přijmuli (viz tab. 5), neboť pozorovaná hodnota testového kritéria D nepřekročila tabelovanou kritickou hodnotu $D_\alpha(n)$. Datový soubor tak *má normální rozdělení* a základní předpoklad pro sestrojení regulačních diagramů je splněn.

Tab. 5: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 1 (Zdroj: vlastní zpracování)

Hypotéza:	Základní soubor má rozdělení normální.
Hodnota testového kritéria D :	0,145
Kritická hodnota $D_{\alpha}(n)$:	0,264
Závěr testu:	Hypotézu přijmeme.

Regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Dle vzorce (1.9) se vypočítá průměrné klouzavé rozpětí \bar{R}_{kl} , které je potřebné pro další výpočty:

$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i} = \frac{1}{25-1} \cdot 4,010 = 0,167 \text{ mm}$$

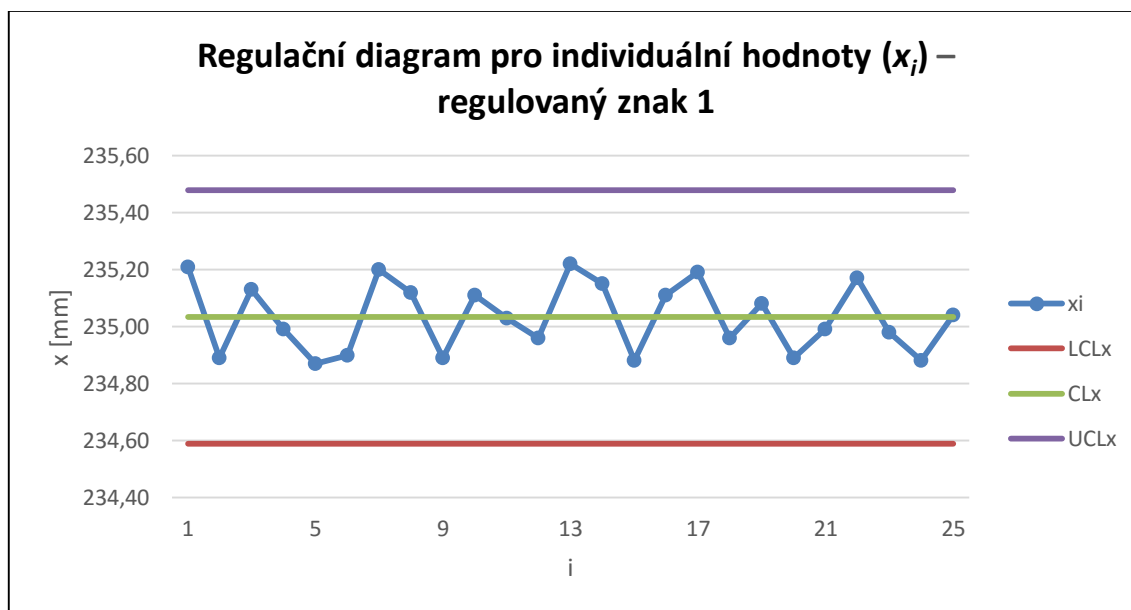
Pomocí vzorců (1.10), (1.14) a (1.15) se vypočte střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL). Jejich výpočet je následující:

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{25} \cdot 5875,840 = 235,034 \text{ mm}$$

$$UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 235,034 + 2,66 \cdot 0,167 = 235,478 \text{ mm}$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 235,034 - 2,66 \cdot 0,167 = 234,589 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 22.



Obr. 22: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 1

(Zdroj: tab. 4, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním s pravidly uvedenými v kapitole 2.4.3, v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Tento regulační diagram je vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

Regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

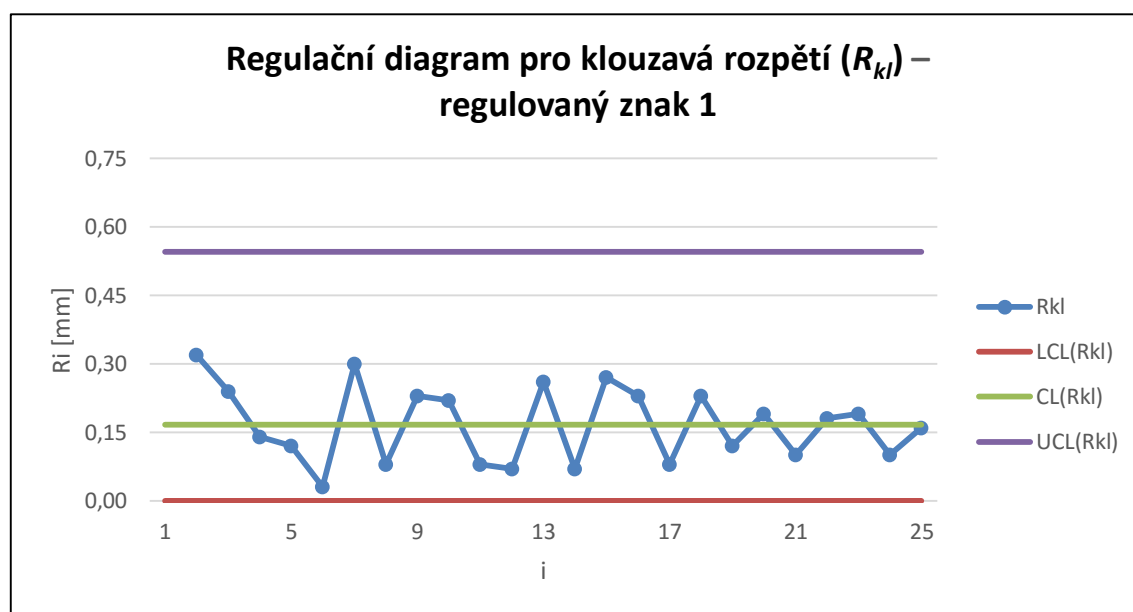
Konstrukce střední přímky a akčních mezí vychází ze stejných předpokladů jako u předchozího diagramu. Dle vzorců (1.16), (1.17) a (1.18) se vypočte střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL). Jejich výpočet je následující:

$$CL(R_{kl}) = \bar{R}_{kl} = 0,167 \text{ mm}$$

$$UCL(R_{kl}) = D_4 \cdot \bar{R}_{kl} = 3,267 \cdot 0,167 = 0,546 \text{ mm}$$

$$LCL(R_{kl}) = D_3 \cdot \bar{R}_{kl} = 0 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 23.



Obr. 23: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 1
(Zdroj: tab. 4, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Tento regulační diagram je vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

2.3.2 Regulovaný znak jakosti 2

Druhým regulovaným znakem jakosti je osazení čepu o průměru $28 \pm 0,13$ mm. K měření tohoto rozměru došlo u prvního vyráběného kusu a následně u každého 4. kusu. V tabulce 6 je uvedeno 25 naměřených hodnot regulovaného znaku nutných pro výpočet regulačních diagramů.

Tab. 6: Naměřená data regulovaného znaku 2 v mm (Zdroj: vlastní zpracování)

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	27,99	28,04	27,99	28,01	27,95	28,03	28,05	27,99	27,96
R_{kl}	–	0,05	0,05	0,02	0,06	0,08	0,02	0,06	0,03
<i>i</i>	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_i	28,00	28,03	28,06	27,98	28,02	27,96	27,97	27,99	28,05
R_{kl}	0,04	0,03	0,03	0,08	0,04	0,06	0,01	0,02	0,06
<i>i</i>	19	20	21	22	23	24	25		
x_i	28,00	28,06	28,02	27,99	27,95	28,03	28,00		
R_{kl}	0,05	0,06	0,04	0,03	0,04	0,08	0,03		

Z naměřených dat se vypočtou základní empirické charakteristiky:

- výběrový průměr $\bar{x} = 28,005$ mm,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,033$ mm.

Dále je potřeba ověřit zda má základní datový soubor normální rozdělení. Dle Kolmogorovova-Smirnova testu (viz tab. 7) pozorovaná hodnota testového kritéria D nepřekročila tabelovanou kritickou hodnotu $D_{\alpha}(n)$. Datový soubor tak *má normální rozdělení* a základní předpoklad pro sestavení regulačních diagramů je splněn.

Tab. 7: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 2 (Zdroj: vlastní zpracování)

Hypotéza:	Základní soubor má rozdělení normální.
Hodnota testového kritéria D :	0,117
Kritická hodnota $D_{\alpha}(n)$:	0,264
Závěr testu:	Hypotézu přijmeme.

Regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Průměrné klouzavé rozpětí \bar{R}_{kl} , potřebné pro další výpočty, vyšlo následovně:

$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i} = \frac{1}{25-1} \cdot 1,070 = 0,045 \text{ mm}$$

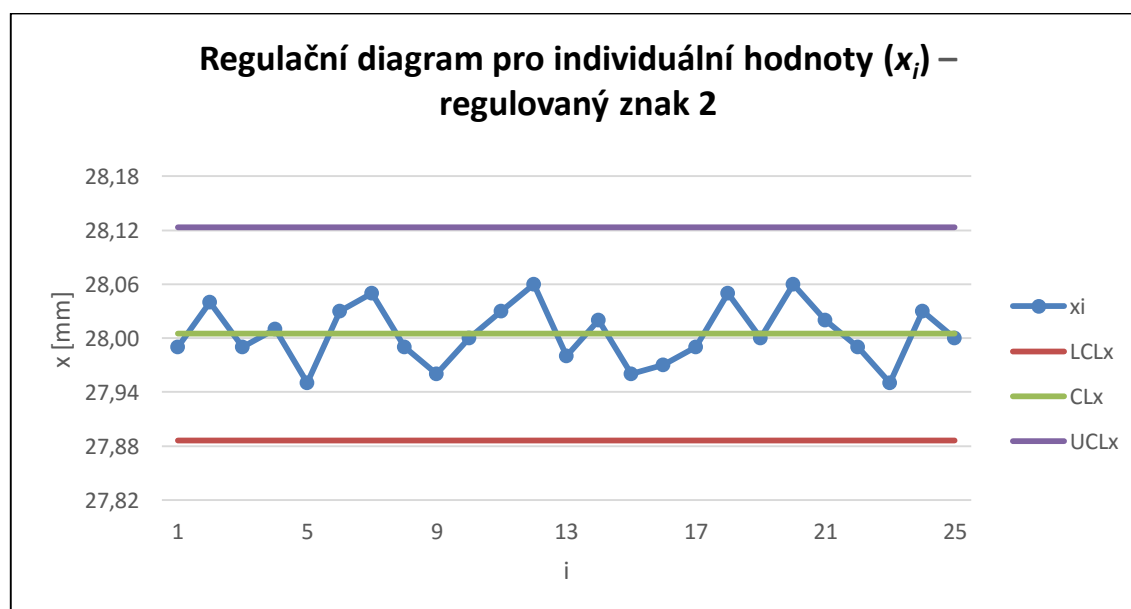
Dále se vypočte střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL). Jejich výpočet je následující:

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{25} \cdot 700,120 = 28,005 \text{ mm}$$

$$UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 28,005 + 2,66 \cdot 0,045 = 28,123 \text{ mm}$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 28,005 - 2,66 \cdot 0,045 = 27,886 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 24.



Obr. 24: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 2

(Zdroj: tab. 6, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Tento regulační diagram je vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

Regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

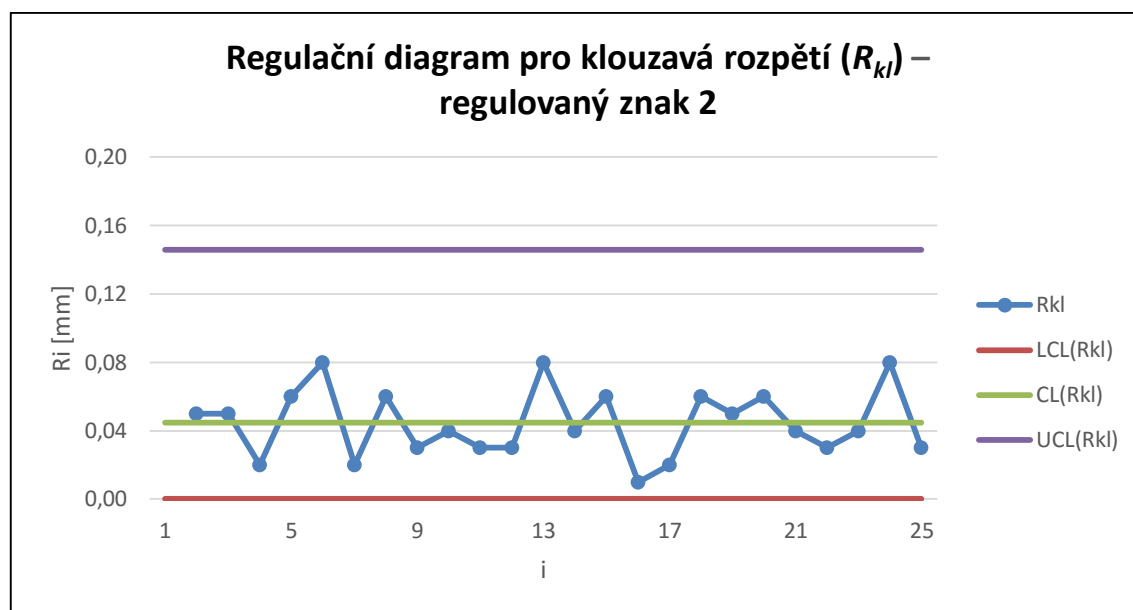
Výpočet střední přímky (CL) a akčních mezí (UCL , LCL) je následující:

$$CL(R_{kl}) = \bar{R}_{kl} = 0,045 \text{ mm}$$

$$UCL(R_{kl}) = D_4 \cdot \bar{R}_{kl} = 3,267 \cdot 0,045 = 0,146 \text{ mm}$$

$$LCL(R_{kl}) = D_3 \cdot \bar{R}_{kl} = 0 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 25.



Obr. 25: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 2

(Zdroj: tab. 6, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Tento regulační diagram je vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

2.3.3 Regulovaný znak jakosti 3

Třetím regulovaným znakem jakosti je délka kroužku držáku $16 \pm 0,1$ mm. K měření tohoto rozměru došlo u prvního vyráběného kusu a následně u každého 4. kusu. V tabulce 8 je uvedeno 25 naměřených hodnot regulovaného znaku nutných pro výpočet regulačních diagramů.

Tab. 8: Naměřená data regulovaného znaku 3 v mm (Zdroj: vlastní zpracování)

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	16,01	16,02	15,98	15,97	15,99	16,03	15,97	16,04	16,02
R_{kl}	–	0,01	0,04	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,02
<i>i</i>	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_i	15,97	16,00	15,98	16,03	15,96	15,99	16,01	16,03	15,97
R_{kl}	0,05	0,03	0,02	0,05	0,07	0,03	0,02	0,02	0,06
<i>i</i>	19	20	21	22	23	24	25		
x_i	15,99	16,04	15,98	16,00	15,97	16,01	15,99		
R_{kl}	0,02	0,05	0,06	0,02	0,03	0,04	0,02		

Z naměřených dat se vypočtou základní empirické charakteristiky:

- výběrový průměr $\bar{x} = 15,997$ mm,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,029$ mm.

Dále je potřeba ověřit zda má základní datový soubor normální rozdělení. Dle Kolmogorovova-Smirnova testu (viz tab. 9) pozorovaná hodnota testového kritéria D nepřekročila tabelovanou kritickou hodnotu $D_{\alpha}(n)$. Datový soubor tak *má normální rozdělení* a základní předpoklad pro sestavení regulačních diagramů je splněn.

Tab. 9: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 3 (Zdroj: vlastní zpracování)

Hypotéza:	Základní soubor má rozdělení normální.
Hodnota testového kritéria D :	0,141
Kritická hodnota $D_{\alpha}(n)$:	0,264
Závěr testu:	Hypotézu přijmeme.

Regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Průměrné klouzavé rozpětí \bar{R}_{kl} , potřebné pro další výpočty, vyšlo následovně:

$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i} = \frac{1}{25-1} \cdot 0,860 = 0,036 \text{ mm}$$

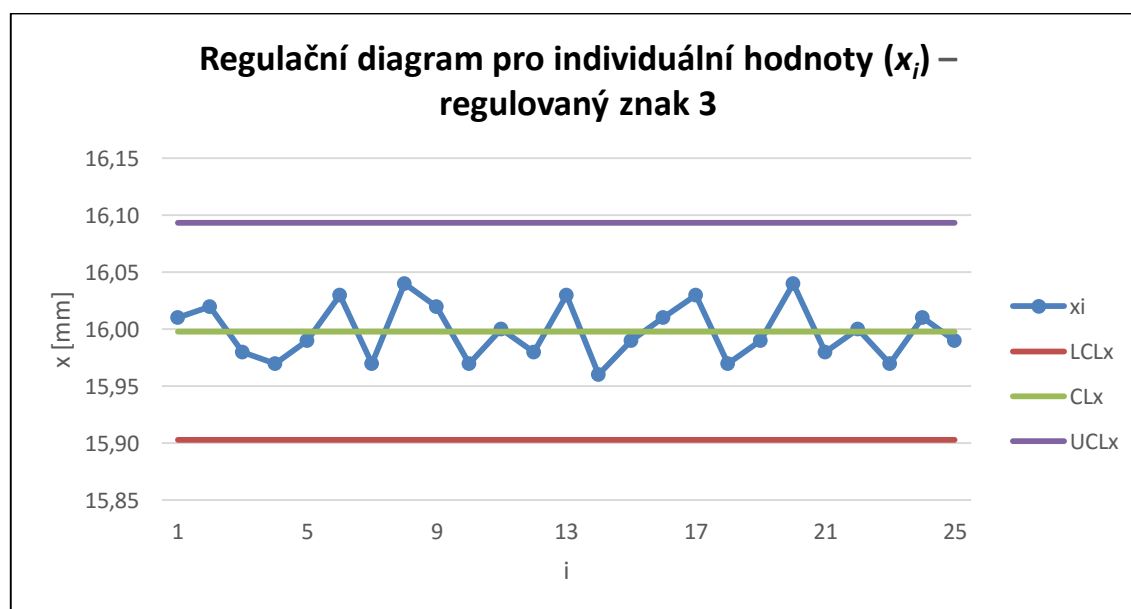
Dále se vypočte střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL). Jejich výpočet je následující:

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{25} \cdot 399,950 = 15,998 \text{ mm}$$

$$UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 15,998 + 2,66 \cdot 0,036 = 16,093 \text{ mm}$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 15,998 - 2,66 \cdot 0,036 = 15,903 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 26.



Obr. 26: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 3

(Zdroj: tab. 8, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Tento regulační diagram je vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

Regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

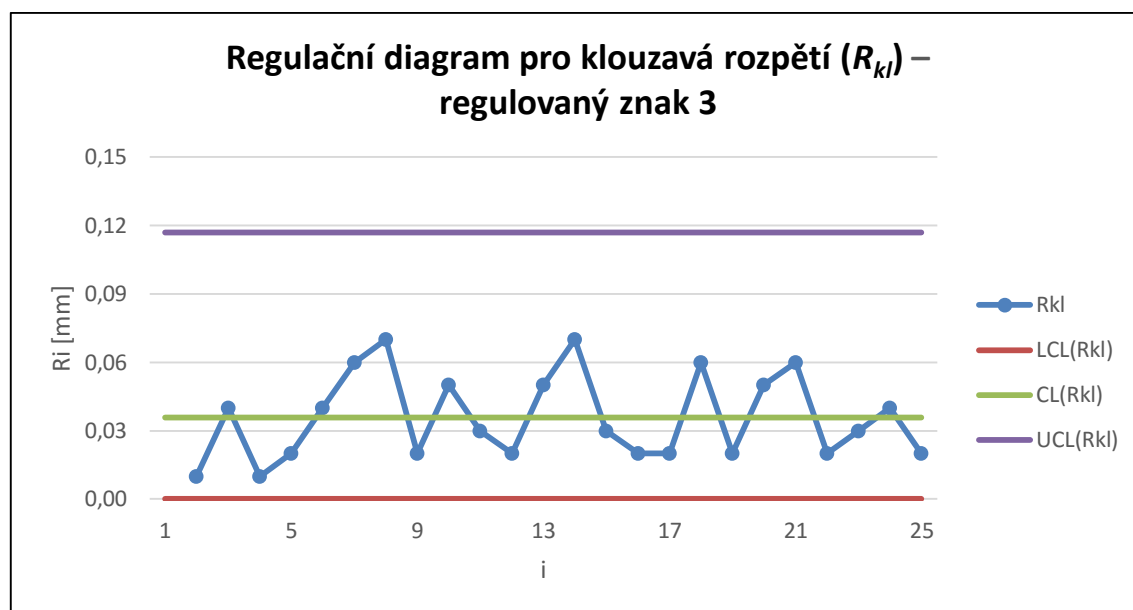
Výpočet střední přímky (CL) a akčních mezí (UCL , LCL) je následující:

$$CL(R_{kl}) = \bar{R}_{kl} = 0,036 \text{ mm}$$

$$UCL(R_{kl}) = D_4 \cdot \bar{R}_{kl} = 3,267 \cdot 0,036 = 0,117 \text{ mm}$$

$$LCL(R_{kl}) = D_3 \cdot \bar{R}_{kl} = 0 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 27.



Obr. 27: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 3

(Zdroj: tab. 8, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Tento regulační diagram je vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

2.3.4 Regulovaný znak jakosti 4

Čtvrtým regulovaným znakem jakosti je průměr kroužku držáku $20 \pm 0,13$ mm. K měření tohoto rozměru došlo u prvního vyráběného kusu a následně u každého 4. kusu. V tabulce 10 je uvedeno 25 naměřených hodnot regulovaného znaku nutných pro výpočet regulačních diagramů.

Tab. 10: Naměřená data regulovaného znaku 4 v mm (Zdroj: vlastní zpracování)

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	20,02	19,95	19,99	20,02	20,00	20,03	19,95	19,94	19,98
R_{kl}	–	0,07	0,04	0,03	0,02	0,03	0,08	0,01	0,04
<i>i</i>	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_i	20,01	20,00	20,03	19,97	19,98	19,95	19,99	19,96	20,04
R_{kl}	0,03	0,01	0,03	0,06	0,01	0,03	0,04	0,03	0,08
<i>i</i>	19	20	21	22	23	24	25		
x_i	20,01	20,03	20,00	19,96	19,98	20,02	19,99		
R_{kl}	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03		

Z naměřených dat se vypočtou základní empirické charakteristiky:

- výběrový průměr $\bar{x} = 19,992$ mm,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,029$ mm.

Dále je potřeba ověřit zda má základní datový soubor normální rozdělení. Dle Kolmogorovova-Smirnova testu (viz tab. 11) pozorovaná hodnota testového kritéria D nepřekročila tabelovanou kritickou hodnotu $D_{\alpha}(n)$. Datový soubor tak *má normální rozdělení* a základní předpoklad pro sestavení regulačních diagramů je splněn.

Tab. 11: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 4 (Zdroj: vlastní zpracování)

Hypotéza:	Základní soubor má rozdělení normální.
Hodnota testového kritéria D :	0,109
Kritická hodnota $D_{\alpha}(n)$:	0,264
Závěr testu:	Hypotézu přijmeme.

Regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Průměrné klouzavé rozpětí \bar{R}_{kl} , vyšlo následovně:

$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i} = \frac{1}{25-1} \cdot 0,850 = 0,035 \text{ mm}$$

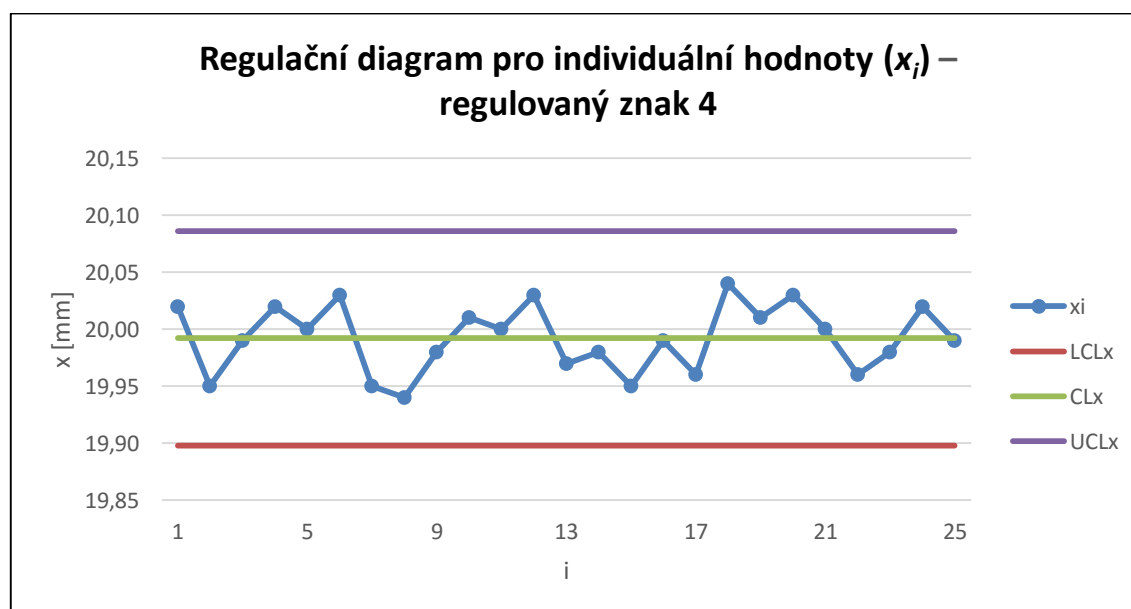
Dále se vypočte střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL). Jejich výpočet je následující:

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{25} \cdot 499,800 = 19,992 \text{ mm}$$

$$UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 19,992 + 2,66 \cdot 0,035 = 20,086 \text{ mm}$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 19,992 - 2,66 \cdot 0,035 = 19,898 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 28.



Obr. 28: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 4

(Zdroj: tab. 10, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Tento regulační diagram je vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

Regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

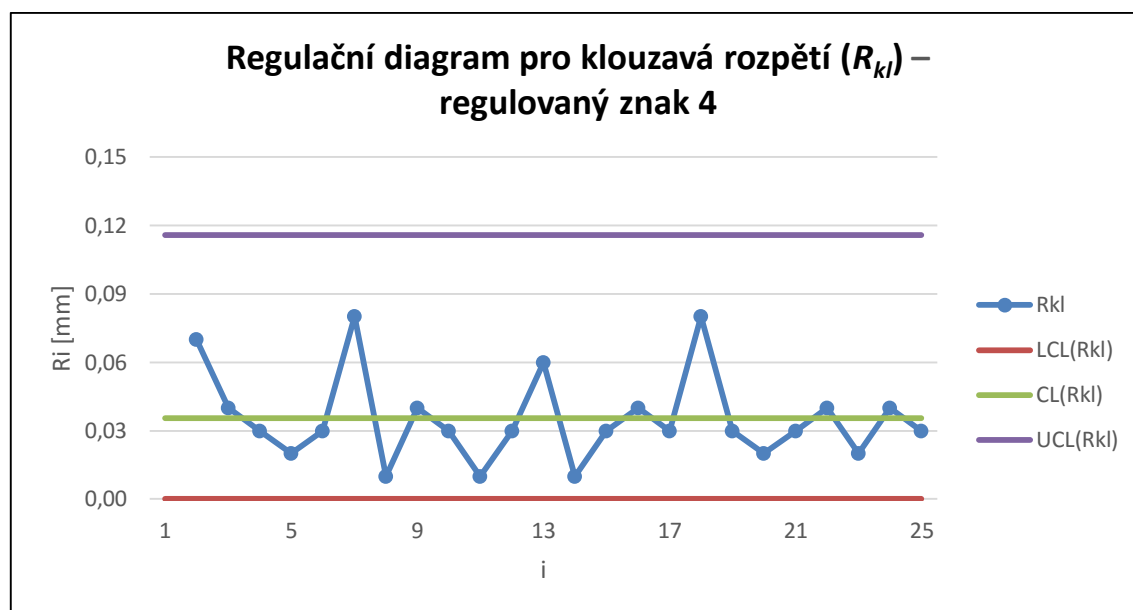
Výpočet střední přímkky (CL) a akčních mezích (UCL , LCL) je následující:

$$CL(R_{kl}) = \bar{R}_{kl} = 0,035 \text{ mm}$$

$$UCL(R_{kl}) = D_4 \cdot \bar{R}_{kl} = 3,267 \cdot 0,035 = 0,116 \text{ mm}$$

$$LCL(R_{kl}) = D_3 \cdot \bar{R}_{kl} = 0 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 29.



Obr. 29: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 4

(Zdroj: tab. 10, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces tak je ve statisticky zvládnutém stavu. Regulační diagram je tak vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

2.3.5 Regulovaný znak jakosti 5

Pátým regulovaným znakem jakosti je délka hřídele pohonu $155 \pm 0,5$ mm. K měření tohoto rozměru došlo u prvního vyráběného kusu a následně u každého 4. kusu. V tabulce 12 je uvedeno 25 naměřených hodnot regulovaného znaku nutných pro výpočet regulačních diagramů.

Tab. 12: Naměřená data regulovaného znaku 5 v mm (Zdroj: vlastní zpracování)

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	154,91	155,00	155,13	154,95	155,22	154,96	154,79	155,02	155,11
R_{kl}	–	0,09	0,13	0,18	0,27	0,26	0,17	0,23	0,09
<i>i</i>	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_i	154,99	154,88	155,12	154,90	155,15	155,03	155,21	155,31	155,00
R_{kl}	0,12	0,11	0,24	0,22	0,25	0,12	0,18	0,10	0,31
<i>i</i>	19	20	21	22	23	24	25		
x_i	155,10	154,94	155,16	155,08	154,89	154,92	155,11		
R_{kl}	0,10	0,16	0,22	0,08	0,19	0,03	0,19		

Z naměřených dat se vypočtou základní empirické charakteristiky:

- výběrový průměr $\bar{x} = 155,035$ mm,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,126$ mm.

Dále je potřeba ověřit zda má základní datový soubor normální rozdělení. Dle Kolmogorovova-Smirnova testu (viz tab. 13) pozorovaná hodnota testového kritéria D nepřekročila tabelovanou kritickou hodnotu $D_\alpha(n)$. Datový soubor tak *má normální rozdělení* a základní předpoklad pro sestavení regulačních diagramů je splněn.

Tab. 13: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 5 (Zdroj: vlastní zpracování)

Hypotéza:	Základní soubor má rozdělení normální.
Hodnota testového kritéria D :	0,096
Kritická hodnota $D_\alpha(n)$:	0,264
Závěr testu:	Hypotézu přijmeme.

Regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Průměrné klouzavé rozpětí \bar{R}_{kl} , vyšlo následovně:

$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i} = \frac{1}{25-1} \cdot 4,040 = 0,168 \text{ mm}$$

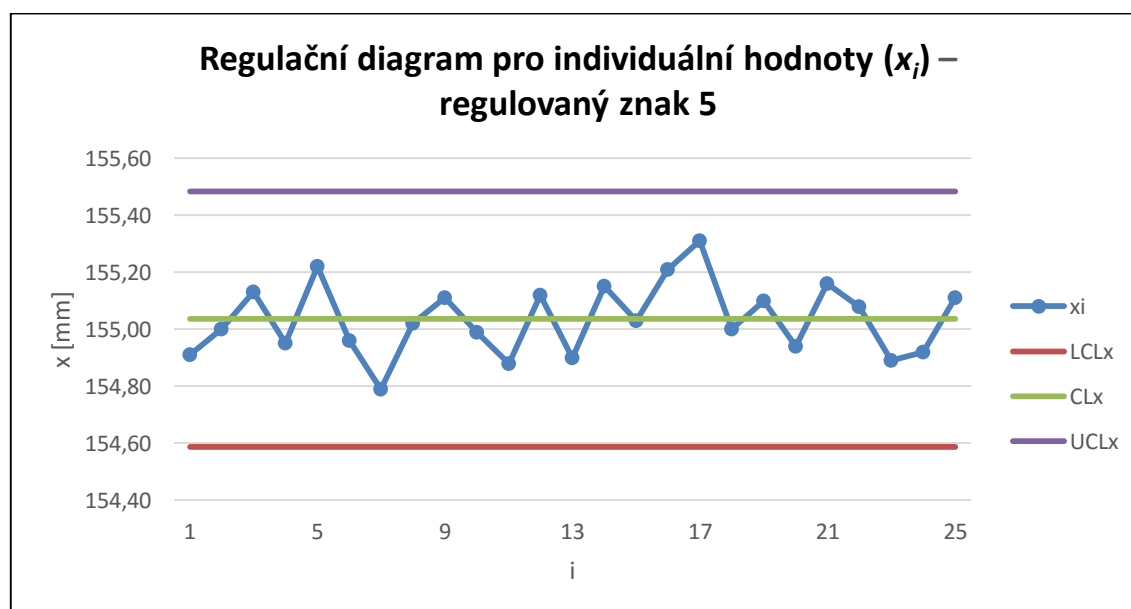
Dále se vypočte střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL). Jejich výpočet je následující:

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{25} \cdot 3875,880 = 155,035 \text{ mm}$$

$$UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 155,035 + 2,66 \cdot 0,168 = 155,483 \text{ mm}$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 155,035 - 2,66 \cdot 0,168 = 154,587 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 30.



Obr. 30: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 5

(Zdroj: tab. 12, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces je tak ve statisticky zvládnutém stavu. Regulační diagram můžeme použít pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

Regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

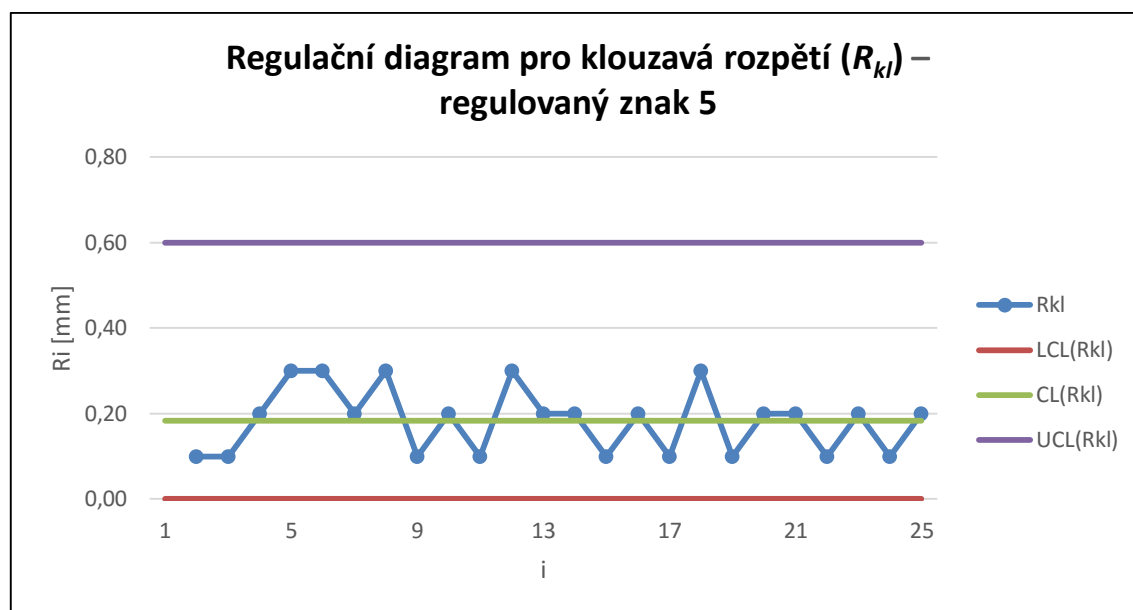
Výpočet střední přímky (CL) a akčních mezí (UCL , LCL) je následující:

$$CL(R_{kl}) = \bar{R}_{kl} = 0,168 \text{ mm}$$

$$UCL(R_{kl}) = D_4 \cdot \bar{R}_{kl} = 3,267 \cdot 0,168 = 0,550 \text{ mm}$$

$$LCL(R_{kl}) = D_3 \cdot \bar{R}_{kl} = 0 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 31.



Obr. 31: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 5

(Zdroj: tab. 12, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Všechny naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí. Nenáhodná seskupení nebyla porovnáním v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces můžeme označit za statisticky zvládnutý. Regulační diagram je tak vhodný pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

2.3.6 Regulovaný znak jakosti 6

Šestým regulovaným znakem jakosti je průměr osazení hřídele pohonu $20 \pm 0,02$ mm. K měření tohoto rozměru došlo u prvního vyráběného kusu a následně u každého 4. kusu. V tabulce 14 je uvedeno 25 naměřených hodnot regulovaného znaku nutných pro výpočet regulačních diagramů.

Tab. 14: Naměřená data regulovaného znaku 6 v mm (Zdroj: vlastní zpracování)

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	20,006	19,994	19,998	20,002	19,997	20,009	20,002	20,005	19,995
R_{kl}	–	0,012	0,004	0,004	0,005	0,012	0,007	0,003	0,010
<i>i</i>	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_i	19,999	20,004	19,997	20,028	20,003	20,001	19,994	19,999	19,989
R_{kl}	0,004	0,005	0,007	0,031	0,025	0,002	0,007	0,005	0,010
<i>i</i>	19	20	21	22	23	24	25		
x_i	20,000	20,003	19,996	20,005	20,003	20,012	20,000		
R_{kl}	0,011	0,003	0,007	0,009	0,002	0,009	0,012		

Z naměřených dat se vypočtou základní empirické charakteristiky:

- výběrový průměr $\bar{x} = 20,002$ mm,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,007$ mm.

Dále je potřeba ověřit zda má základní datový soubor normální rozdělení. Dle Kolmogorovova-Smirnova testu (viz tab. 15) pozorovaná hodnota testového kritéria D nepřekročila tabelovanou kritickou hodnotu $D_{\alpha}(n)$. Datový soubor tak *má normální rozdělení* a základní předpoklad pro sestrojení regulačních diagramů je splněn.

Tab. 15: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 6 (Zdroj: vlastní zpracování)

Hypotéza:	Základní soubor má rozdělení normální.
Hodnota testového kritéria D :	0,166
Kritická hodnota $D_{\alpha}(n)$:	0,264
Závěr testu:	Hypotézu přijmeme.

Regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Průměrné klouzavé rozpětí \bar{R}_{kl} , střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL):

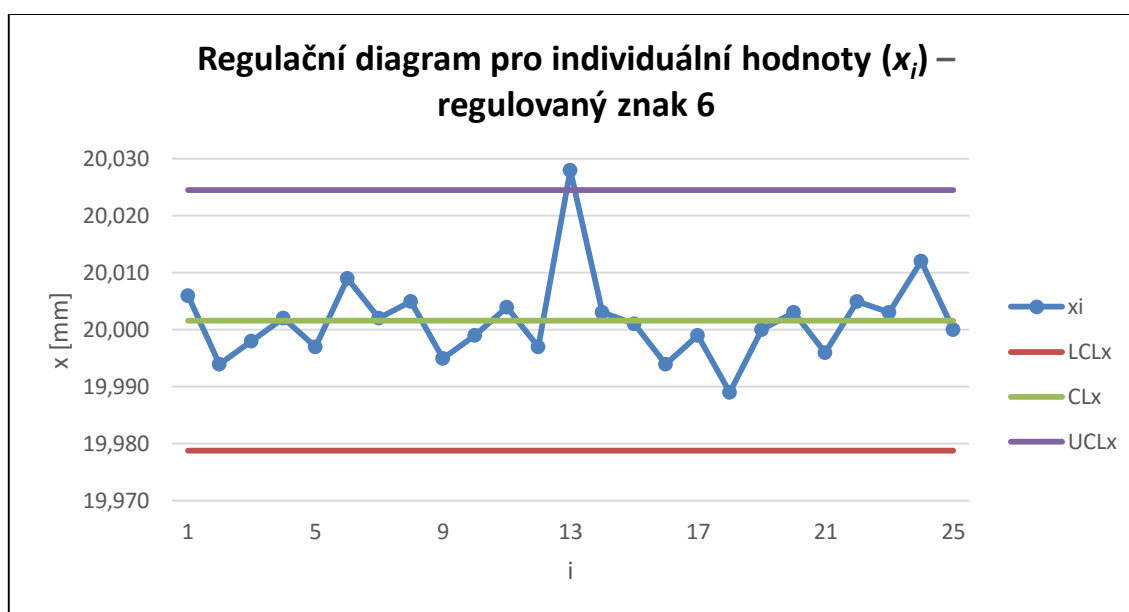
$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i} = \frac{1}{25-1} \cdot 0,206 = 0,009 \text{ mm}$$

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{25} \cdot 500,041 = 20,002 \text{ mm}$$

$$UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 20,002 + 2,66 \cdot 0,009 = 20,024 \text{ mm}$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 20,002 - 2,66 \cdot 0,009 = 19,979 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 32.



Obr. 32: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 6

(Zdroj: tab. 14, vlastní zpracování v programu MS Excel)

U tohoto sledovaného znaku můžeme pozorovat hodnotu, která překročila horní regulační mez UCL v regulačním diagramu pro individuální hodnoty. Můžeme zde tedy uplatnit pravidlo 1 testů nenáhodných seskupení uvedené v kapitole 2.4.3 (jedna hodnota se nachází mimo regulační meze). Jako vymezitelná příčina může působit lokální porucha procesu, chybné měření nebo výpadek ve výrobě. Je tedy nutné najít vymezitelnou příčinu a následně přepočítat regulační meze s vynechanou hodnotou, která je překročila. V tomto případě bylo identifikováno vymezitelnou příčinou chybné měření.

Přepočítaný regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i)

Po vynechání hodnoty, která překročila regulační meze v předchozím regulačním diagramu, vyšlo klouzavé rozpětí \bar{R}_{kl} , střední přímka (CL) a akční meze (UCL , LCL) následovně:

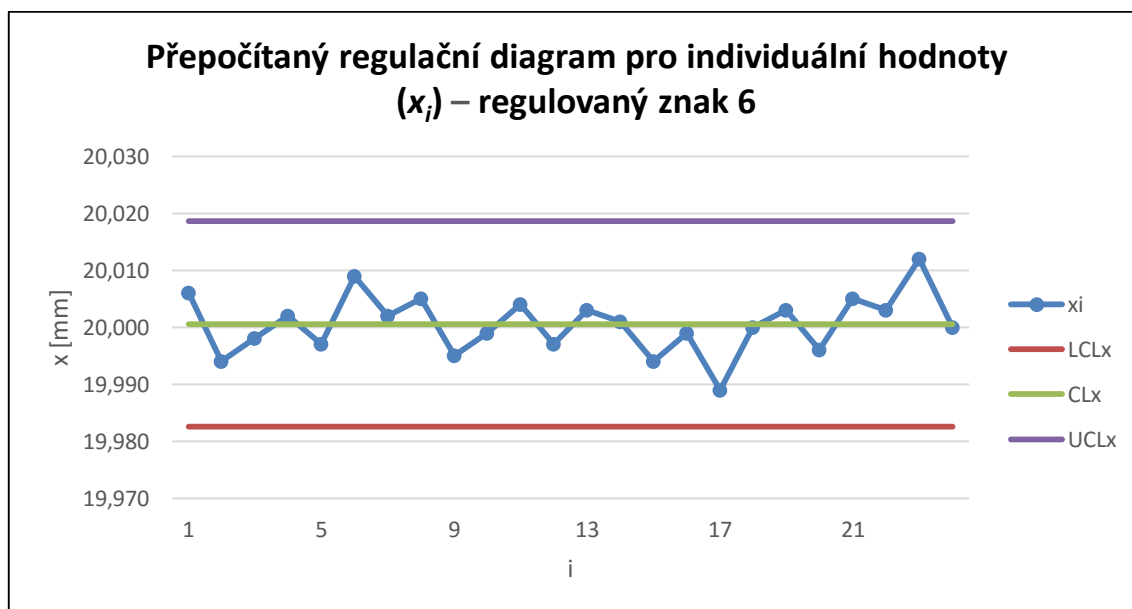
$$\bar{R}_{kl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k R_{kl,i} = \frac{1}{24-1} \cdot 0,156 = 0,007 \text{ mm}$$

$$CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{24} \cdot 480,013 = 20,001 \text{ mm}$$

$$UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 20,001 + 2,66 \cdot 0,007 = 20,019 \text{ mm}$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{R}_{kl} = 20,001 - 2,66 \cdot 0,007 = 19,982 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 33.



Obr. 33: Přepočítaný regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 6

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Po provedené úpravě se již všechny naměřené hodnoty pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Nenáhodná seskupení nebyla v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces je tak ve statisticky zvládnutém stavu. Regulační diagram můžeme použít pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

Regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

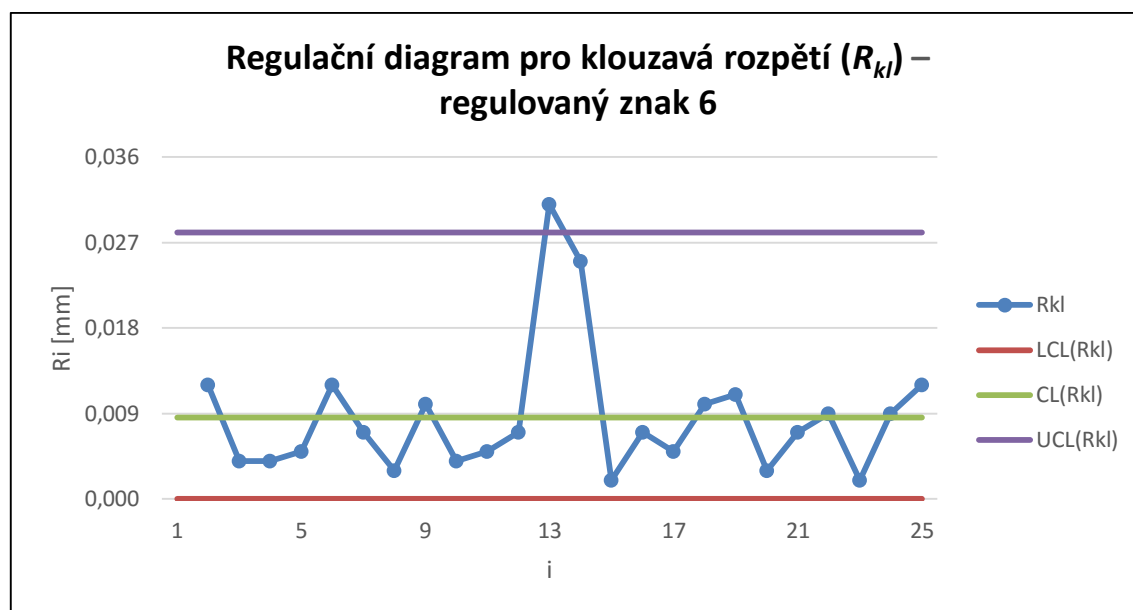
Výpočet střední přímky (CL) a akčních mezí (UCL , LCL) je následující:

$$CL(R_{kl}) = \bar{R}_{kl} = 0,009 \text{ mm}$$

$$UCL(R_{kl}) = D_4 \cdot \bar{R}_{kl} = 3,267 \cdot 0,009 = 0,028 \text{ mm}$$

$$LCL(R_{kl}) = D_3 \cdot \bar{R}_{kl} = 0 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 34.



Obr. 34: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 6

(Zdroj: tab. 14, vlastní zpracování v programu MS Excel)

Můžeme zde pozorovat 13. naměřenou hodnotu překročit horní regulační mez UCL v regulačním diagramu pro klouzavá rozpětí. Následující 14. naměřená hodnota se přibližuje k horní regulační mezi UCL . Ostatní hodnoty se pohybují kolem střední přímky CL . Stejně jako u předešlého regulačního diagramu je i zde nutné přepočítat regulační meze s vynechanou hodnotou, která je překročila.

Přepočítaný regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})

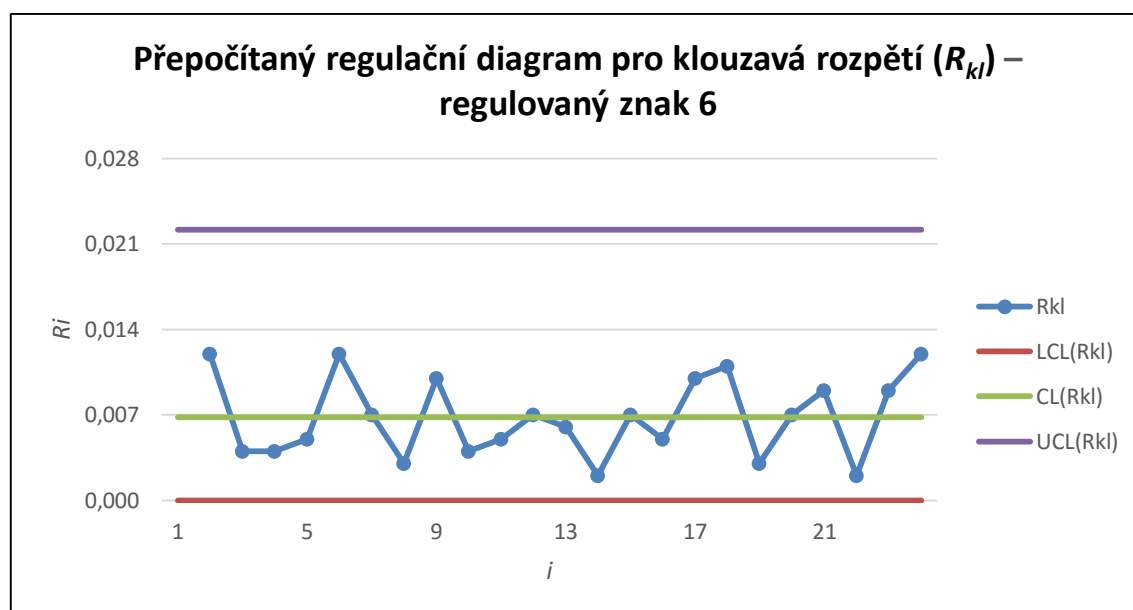
Po vynechání hodnoty, která překročila regulační meze, je výpočet střední přímky (CL) a akčních mezí (UCL , LCL) následující:

$$CL(R_{kl}) = \bar{R}_{kl} = 0,007 \text{ mm}$$

$$UCL(R_{kl}) = D_4 \cdot \bar{R}_{kl} = 3,267 \cdot 0,007 = 0,022 \text{ mm}$$

$$LCL(R_{kl}) = D_3 \cdot \bar{R}_{kl} = 0 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty jsou zakresleny do regulačního diagramu na obr. 35.



Obr. 35: Přepočítaný regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 6
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Po provedené úpravě se již všechny naměřené hodnoty pohybují v rozmezí regulačních mezí regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí. Nenáhodná seskupení nebyla v regulačním diagramu rozpoznána. Sledovaný proces je tak ve statisticky zvládnutém stavu. Regulační diagram můžeme použít pro další sledování stability uvedeného výrobního procesu.

2.4 Aplikace indexů způsobilosti

Způsobilost výrobního procesu se dále zhodnotí pomocí indexů způsobilosti C_{pk} a C_{pmk} , které byly uvedeny v kapitole 2.5. Index C_{pk} sleduje nejen variabilitu znaku jakosti, ale též jeho polohu vůči tolerančním mezím. Index C_{pmk} je vhodný pro situace, kdy se střední hodnota procesu liší od předepsané hodnoty.

Hodnoty indexů jsou v praxi hodnoceny dle následujícího žebříčku:

- nezpůsobilost (<1),
- střední způsobilost (1-1,33),
- vysoká způsobilost ($>1,33$).

2.4.1 Regulovaný znak jakosti 1

Pro výpočet indexů způsobilosti je nutné znát předepsanou přesnost, kterou představují toleranční meze a cílová hodnota. K výpočtu je potřeba také dříve vypočtený výběrový průměr a výběrová směrodatná odchylka. Regulovaný znak jakosti 1 má stanoven následující parametry:

- | | |
|--|----------------------------------|
| • cílová hodnota (viz příloha 2) | $T = 235 \text{ mm}$, |
| • horní toleranční mez (viz příloha 2) | $USL = 235,5 \text{ mm}$, |
| • dolní toleranční mez (viz příloha 2) | $LSL = 234,5 \text{ mm}$, |
| • výběrový průměr | $\bar{x} = 235,034 \text{ mm}$, |
| • výběrová směrodatná odchylka | $s = 0,121 \text{ mm}$. |

Dle vzorců (1.20), (1.21) a (1.22) se vypočítá index způsobilosti C_{pk} :

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{235,500 - 235,034}{3 \cdot 0,121}; \frac{235,034 - 234,500}{3 \cdot 0,121}\right\}$$

$$C_{pk} = \min\{1,284; 1,469\} = 1,284$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je rovna 1,284. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za středně způsobilý (1-1,33). Proces není vycentrován, neboť hodnoty dolní a horní potencionální způsobilosti (C_{pL} , C_{pU}) nejsou shodné. Nižší hodnota horní potencionální způsobilosti C_{pU} , značí bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

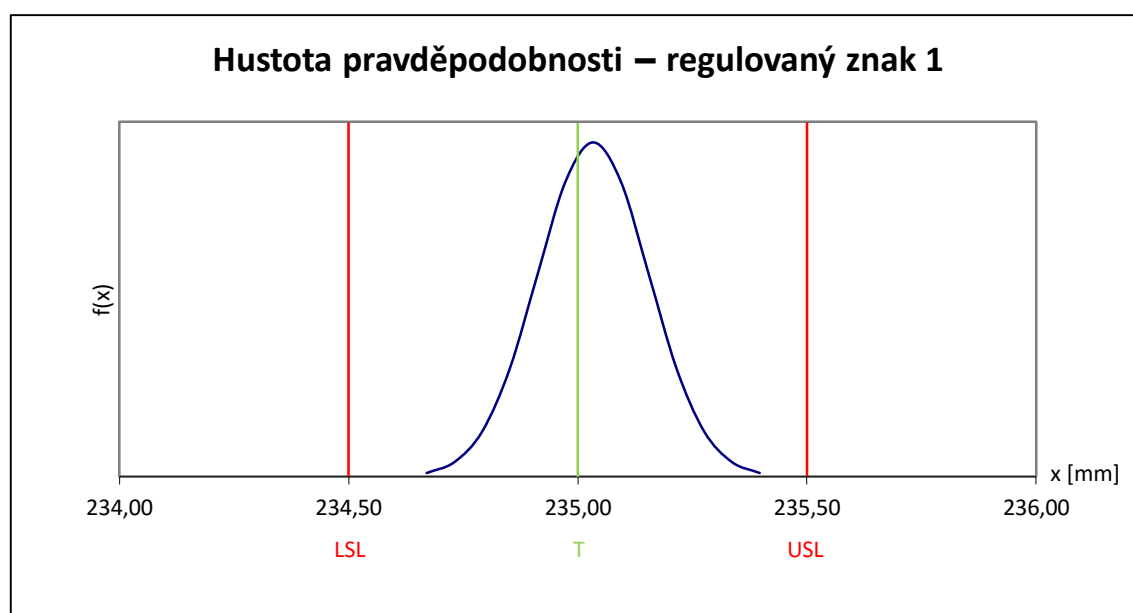
Dle vzorců (1.25) a (1.26) se vypočítá index způsobilosti C_{pmk} :

$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\} = \min\left\{\frac{235,500 - 235,034}{3 \cdot 0,1257}; \frac{235,034 - 234,500}{3 \cdot 0,1257}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min\{1,237; 1,415\} = 1,237$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pmk} je rovna 1,237. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za středně způsobilý (1-1,33). Nižší hodnota horní potenciální způsobilosti C_{pU} , potvrzuje bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

Na obr. 36 je uvedena hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 1, spolu s tolerančními mezemi a cílovou hodnotou. Názorně zde můžeme pozorovat posunutí hustoty pravděpodobnosti blíže k horní toleranční mezi USL . Střední hodnota μ je vyšší než cílová hodnota T a celý proces je tak nastaven nad cílovou hodnotu. Šířka křivky značí nízkou variabilitu příslušného znaku.



Obr. 36: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 1

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

2.4.2 Regulovaný znak jakosti 2

Regulovaný znak jakosti 2 má stanoven následující parametry:

- cílová hodnota (viz příloha 2) $T = 28 \text{ mm}$,
- horní toleranční mez (viz příloha 2) $USL = 28,13 \text{ mm}$,
- dolní toleranční mez (viz příloha 2) $LSL = 27,87 \text{ mm}$,
- výběrový průměr $\bar{x} = 28,0048 \text{ mm}$,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,0334 \text{ mm}$.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je následující:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{28,1300 - 28,0048}{3 \cdot 0,0334}; \frac{28,0048 - 27,8700}{3 \cdot 0,0334}\right\}$$

$$C_{pk} = \min\{1,248; 1,344\} = 1,248$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je rovna 1,248. Sledovaný proces tak můžeme označit za středně způsobilý (1-1,33). Proces není vycentrován, neboť hodnoty dolní a horní potencionální způsobilosti (C_{pL} , C_{pU}) nejsou shodné. Nižší hodnota horní potencionální způsobilosti C_{pU} , značí bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

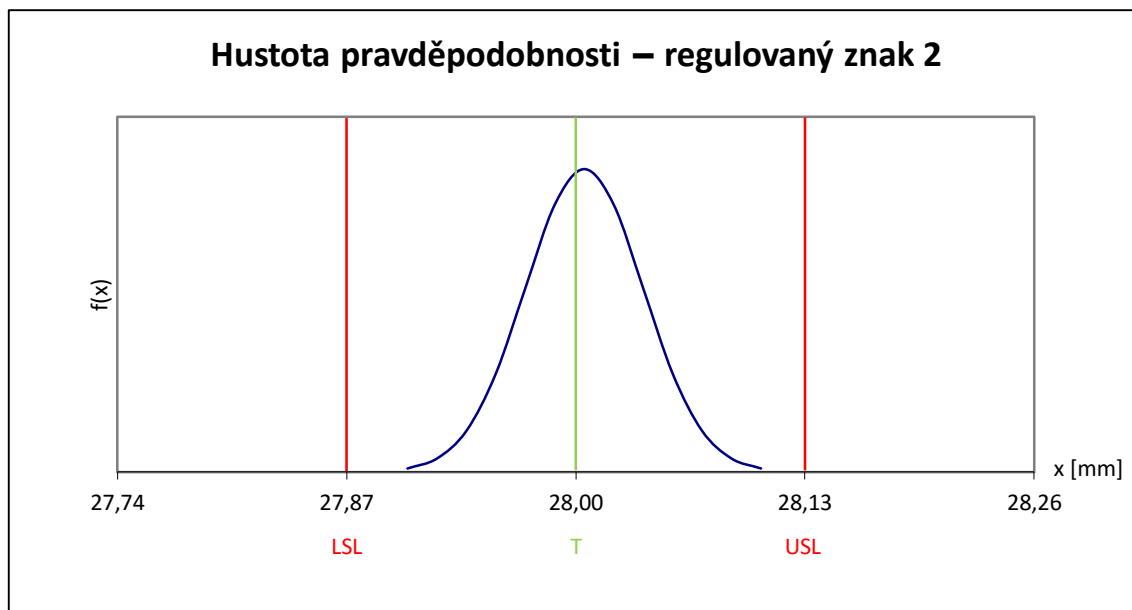
Výpočet indexu způsobilosti C_{pmk} je následující:

$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\} = \min\left\{\frac{28,1300 - 28,0048}{3 \cdot 0,03377}; \frac{28,0048 - 27,8700}{3 \cdot 0,03377}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min\{1,236; 1,330\} = 1,236$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pmk} je rovna 1,236. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za středně způsobilý (1-1,33). Nižší hodnota horní potencionální způsobilosti C_{pU} , potvrzuje bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

Na obr. 37 je uvedena hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 2. Pozorujeme zde posunutí hustoty pravděpodobnosti blíže k horní toleranční mezi USL . Střední hodnota μ je vyšší než cílová hodnota T a celý proces je tak nastaven nad cílovou hodnotu. Šířka křivky značí přiměřenou variabilitu příslušného znaku.



Obr. 37: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 2

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

2.4.3 Regulovaný znak jakosti 3

Regulovaný znak jakosti 3 má stanoven následující parametry:

- cílová hodnota (viz příloha 3) $T = 16 \text{ mm}$,
- horní toleranční mez (viz příloha 3) $USL = 16,1 \text{ mm}$,
- dolní toleranční mez (viz příloha 3) $LSL = 15,9 \text{ mm}$,
- výběrový průměr $\bar{x} = 15,997 \text{ mm}$,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,029 \text{ mm}$.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je následující:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{16,100 - 15,997}{3 \cdot 0,029}; \frac{15,997 - 15,900}{3 \cdot 0,029}\right\}$$

$$C_{pk} = \min\{1,182; 1,108\} = 1,108$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je rovna 1,108. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za středně způsobilý (1-1,33). Proces není vycentrován, neboť hodnoty dolní a horní potenciální způsobilosti (C_{pL} , C_{pU}) nejsou shodné. Nižší hodnota dolní potenciální způsobilosti C_{pL} , značí bližší posunutí regulovaného znaku k dolní toleranční mezi.

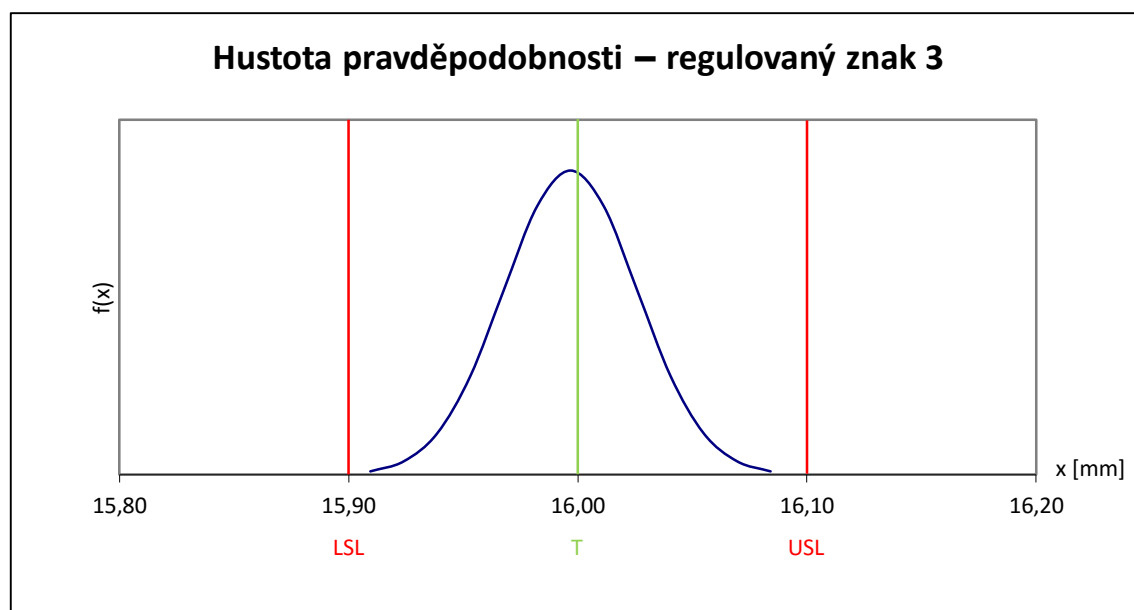
Výpočet indexu způsobilosti C_{pmk} je následující:

$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\} = \min\left\{\frac{16,100 - 15,997}{3 \cdot 0,0293}; \frac{15,997 - 15,900}{3 \cdot 0,0293}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min\{1,174; 1,102\} = 1,102$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pmk} je rovna 1,102. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za středně způsobilý (1-1,33). Nižší hodnota dolní potencionální způsobilosti C_{pL} , potvrzuje bližší posunutí regulovaného znaku k dolní toleranční mezi.

Na obr. 38 je uvedena hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 3, spolu s tolerančními mezemi a cílovou hodnotou. Názorně zde můžeme pozorovat posunutí hustoty pravděpodobnosti blíže k dolní toleranční mezi LSL . Střední hodnota μ je nižší než cílová hodnota T a celý proces je tak nastaven pod cílovou hodnotu. Šířka křivky značí přiměřenou variabilitu příslušného znaku.



Obr. 38: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 3

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

2.4.4 Regulovaný znak jakosti 4

Regulovaný znak jakosti 4 má stanoven následující parametry:

- cílová hodnota (viz příloha 3) $T = 20 \text{ mm}$,
- horní toleranční mez (viz příloha 3) $USL = 20,13 \text{ mm}$,
- dolní toleranční mez (viz příloha 3) $LSL = 19,87 \text{ mm}$,
- výběrový průměr $\bar{x} = 19,992 \text{ mm}$,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,029 \text{ mm}$.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je následující:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{20,130 - 19,992}{3 \cdot 0,029}; \frac{19,992 - 19,870}{3 \cdot 0,029}\right\}$$

$$C_{pk} = \min\{1,563; 1,381\} = 1,381$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je rovna 1,381. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za vysoce způsobilý ($>1,33$). Proces není vycentrován, neboť hodnoty dolní a horní potencionální způsobilosti (C_{pL} , C_{pU}) nejsou shodné. Nižší hodnota dolní potencionální způsobilosti C_{pL} , značí bližší posunutí regulovaného znaku k dolní toleranční mezi.

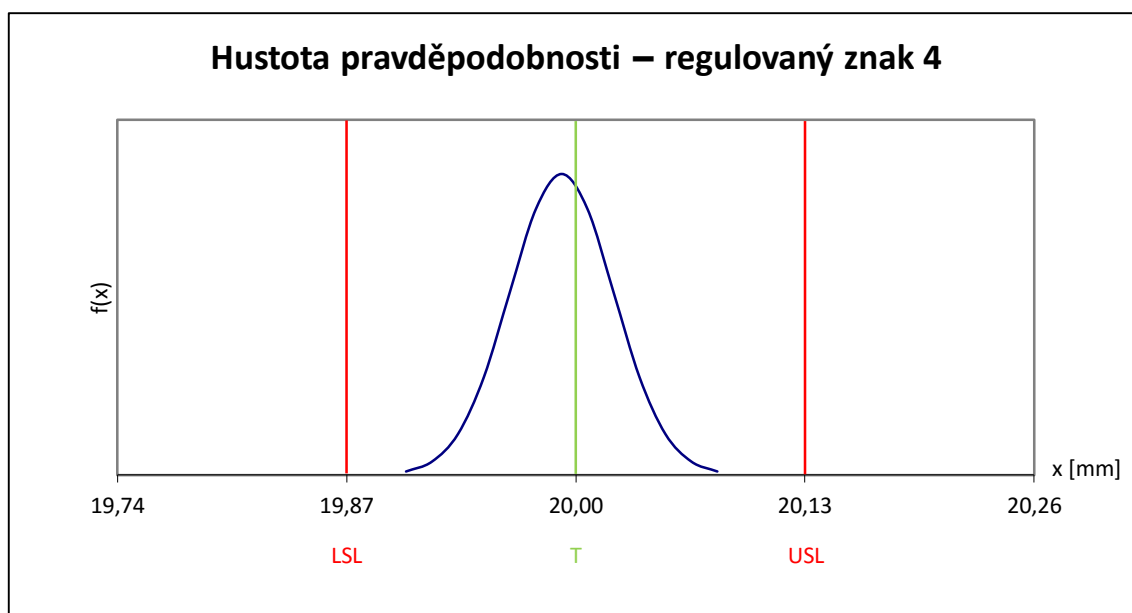
Výpočet indexu způsobilosti C_{pmk} je následující:

$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\} = \min\left\{\frac{20,130 - 19,992}{3 \cdot 0,0305}; \frac{19,992 - 19,870}{3 \cdot 0,0305}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min\{1,508; 1,333\} = 1,333$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pmk} je rovna 1,333. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za vysoce způsobilý ($>1,33$). Nižší hodnota dolní potencionální způsobilosti C_{pL} , potvrzuje bližší posunutí regulovaného znaku k dolní toleranční mezi.

Na obr. 39 je uvedena hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 4. Můžeme zde pozorovat posunutí hustoty pravděpodobnosti blíže k dolní toleranční mezi LSL . Střední hodnota μ je nižší než cílová hodnota T a celý proces je tak nastaven pod cílovou hodnotu. Šířka křivky značí přiměřenou variabilitu příslušného znaku.



Obr. 39: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 4

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

2.4.5 Regulovaný znak jakosti 5

Regulovaný znak jakosti 5 má stanoven následující parametry:

- cílová hodnota (viz příloha 4) $T = 155 \text{ mm}$,
- horní toleranční mez (viz příloha 4) $USL = 155,5 \text{ mm}$,
- dolní toleranční mez (viz příloha 4) $LSL = 154,5 \text{ mm}$,
- výběrový průměr $\bar{x} = 155,035 \text{ mm}$,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,126 \text{ mm}$.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je následující:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{155,500 - 155,035}{3 \cdot 0,126}; \frac{155,035 - 154,500}{3 \cdot 0,126}\right\}$$

$$C_{pk} = \min\{1,228; 1,414\} = 1,228$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je rovna 1,228. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za středně způsobilý (1-1,33). Proces není vycentrován. Nižší hodnota horní potenciační způsobilosti C_{pU} , značí bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

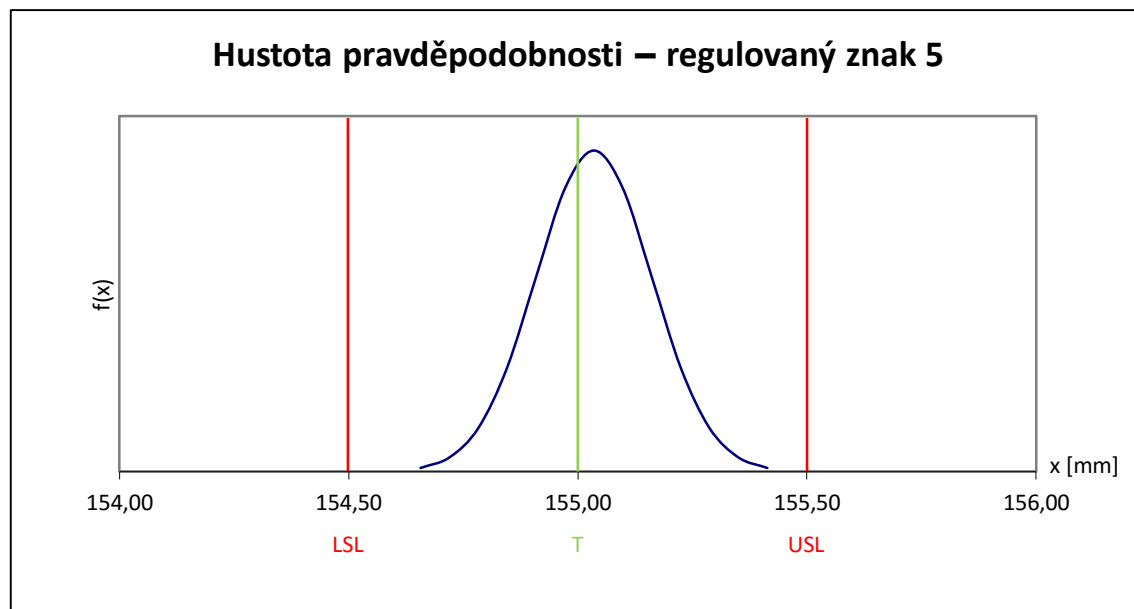
Výpočet indexu způsobilosti C_{pmk} je následující:

$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\} = \min\left\{\frac{155,500 - 155,035}{3 \cdot 0,131}; \frac{155,035 - 154,500}{3 \cdot 0,131}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min\{1,183; 1,362\} = 1,183$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pmk} je rovna 1,183. Sledovaný proces tak můžeme označit dle tohoto indexu za středně způsobilý (1-1,33). Nižší hodnota horní potenciální způsobilosti C_{pU} , potvrzuje bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

Na obr. 40 je uvedena hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 5. Pozorujeme zde posunutí hustoty pravděpodobnosti k horní toleranční mezi USL . Střední hodnota μ je vyšší než cílová hodnota T a celý proces je tak nastaven nad cílovou hodnotu. Šířka křivky značí přiměřenou variabilitu příslušného znaku.



Obr. 40: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 5

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

2.4.6 Regulovaný znak jakosti 6

Regulovaný znak jakosti 5 má stanoven následující parametry:

- cílová hodnota (viz příloha 4) $T = 20 \text{ mm}$,
- horní toleranční mez (viz příloha 4) $USL = 20,02 \text{ mm}$,
- dolní toleranční mez (viz příloha 4) $LSL = 19,98 \text{ mm}$,

Další parametry jsou před vynecháním hodnoty, která překročila regulační meze v regulačním diagramu, stanoveny následovně:

- výběrový průměr $\bar{x} = 20,002 \text{ mm}$,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,007 \text{ mm}$.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je následující:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{20,020 - 20,002}{3 \cdot 0,007}; \frac{20,002 - 19,980}{3 \cdot 0,007}\right\}$$

$$C_{pk} = \min\{0,820; 0,966\} = 0,820$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je před úpravou rovna 0,820. Sledovaný proces by tak byl dle tohoto indexu nezpůsobilý (<1). Jelikož však tento výpočet pracoval s hodnotou, která byla způsobena chybným měření (viz kapitola 2.3.6), vypočítáme znovu hodnotu tohoto indexu po jejím vynechání.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pmk} je následující:

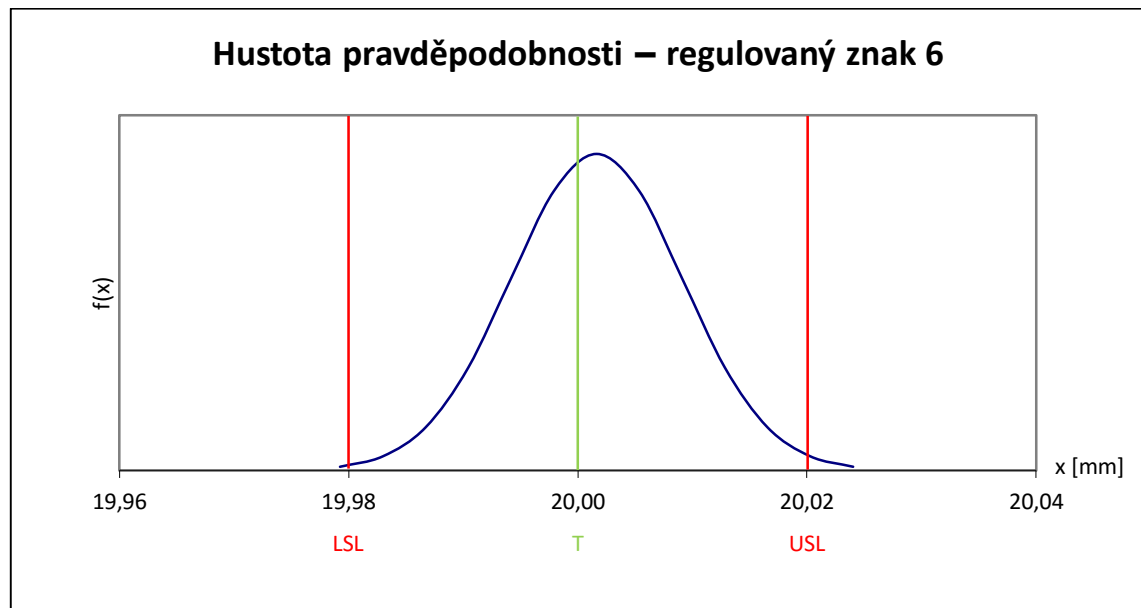
$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\} = \min\left\{\frac{20,020 - 20,002}{3 \cdot 0,0076}; \frac{20,002 - 19,980}{3 \cdot 0,0076}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min\{0,801; 0,944\} = 0,801$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pmk} je rovna 0,801. Sledovaný proces by tak byl dle tohoto indexu nezpůsobilý (<1). Tento výpočet také pracoval s hodnotou, která byla způsobena chybným měření (viz kapitola 2.3.6), proto vypočítáme znovu hodnotu tohoto indexu po jejím vynechání.

Na obr. 41 je uvedena hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 6 před úpravou. Pozorujeme zde posunutí hustoty pravděpodobnosti k horní toleranční mezi USL a překročení této meze hustotou pravděpodobnosti. Střední hodnota μ je vyšší než

cílová hodnota T a celý proces je tak nastaven nad cílovou hodnotu. Šířka křivky značí vysokou variabilitu příslušného znaku.



Obr. 41: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 6

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Přepočítané indexy způsobilosti pro regulovaný znak jakosti 6

Po vynechání hodnoty, která překročila regulační meze v regulačním diagramu, došlo ke změně uvedených parametrů na následující hodnoty:

- výběrový průměr $\bar{x} = 20,001$ mm,
- výběrová směrodatná odchylka $s = 0,005$ mm.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je následující:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{20,020 - 20,001}{3 \cdot 0,005}; \frac{20,001 - 19,980}{3 \cdot 0,005}\right\}$$

$$C_{pk} = \min\{1,255; 1,325\} = 1,255$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je rovna 1,255. Sledovaný proces je dle tohoto indexu středně způsobilý (1-1,33). Proces není vycentrován. Nižší hodnota horní potencionální způsobilosti C_{pU} , značí bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

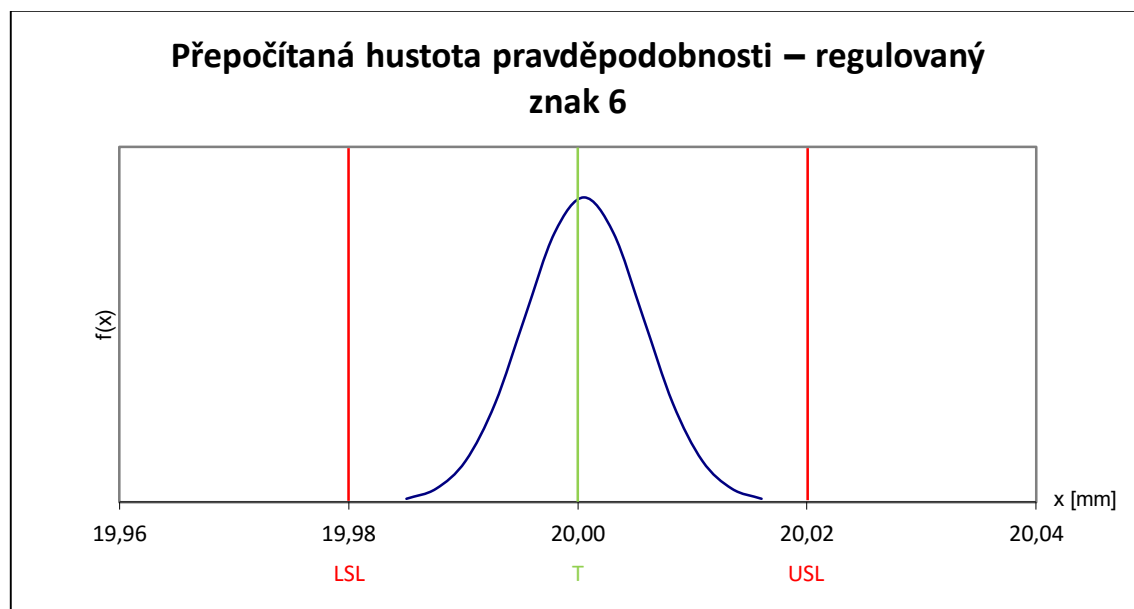
Výpočet indexu způsobilosti C_{pmk} je následující:

$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\} = \min\left\{\frac{20,020 - 20,001}{3 \cdot 0,0052}; \frac{20,001 - 19,980}{3 \cdot 0,0052}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min\{1,249; 1,318\} = 1,249$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pmk} je rovna 1,249. Sledovaný proces je dle tohoto indexu středně způsobilý (1-1,33). Nižší hodnota horní potencionální způsobilosti C_{pu} , potvrzuje bližší posunutí regulovaného znaku k horní toleranční mezi.

Na obr. 42 je uvedena přepočítaná hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 6. Pozorujeme zde posunutí hustoty pravděpodobnosti k horní toleranční mezi USL . Střední hodnota μ je vyšší než cílová hodnota T a celý proces je tak nastaven nad cílovou hodnotu. Šířka křivky značí přiměřenou variabilitu příslušného znaku.



Obr. 42: Přepočítaná hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 6

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

2.5 Shrnutí výsledků regulačních diagramů a indexů způsobilosti

V této části jsou shrnuty výsledky regulačních diagramů a indexů způsobilosti, které jsou přehledně uvedeny v tabulce 16.

Tab. 16: Shrnutí výsledků (Zdroj: vlastní zpracování)

	Regulační diagramy		Indexy způsobilosti	
	x_i	R_{kl}	C_{pk}	C_{pmk}
Regulovaný znak 1	způsobilý		středně způsobilý	
Regulovaný znak 2	způsobilý		středně způsobilý	
Regulovaný znak 3	způsobilý		středně způsobilý	
Regulovaný znak 4	způsobilý		vysoce způsobilý	
Regulovaný znak 5	způsobilý		středně způsobilý	
Regulovaný znak 6	způsobilý (po úpravě)		středně způsobilý (po úpravě)	

Výrobní proces *čepů závěsu* můžeme označit za statisticky zvládnutý, neboť oba regulované znaky jakosti (1, 2) jsou dle regulačních diagramů (x_i , R_{kl}) a indexů způsobilosti (C_{pk} , C_{pmk}) způsobilé. Regulované znaky jakosti 1 a 2 jsou indexy způsobilosti označeny za středně způsobilé.

Výrobní proces *kroužku držáku* můžeme též označit za statisticky zvládnutý, neboť oba regulované znaky jakosti (3, 4) jsou dle regulačních diagramů (x_i , R_{kl}) a indexů způsobilosti (C_{pk} , C_{pmk}) způsobilé. Regulovaný znak jakosti 3 je dle indexů způsobilosti středně způsobilý a znak jakosti 4 vysoce způsobilý.

Výrobní proces *hřídele pohonu* můžeme označit za statisticky zvládnutý, neboť oba regulované znaky jakosti (5, 6) jsou dle regulačních diagramů (x_i , R_{kl}) a indexů způsobilosti (C_{pk} , C_{pmk}) způsobilé. Regulované znaky jakosti 5 a 6 jsou indexy způsobilosti označeny za středně způsobilé. U regulovaného znaku jakosti 6 došlo k přepočítání regulačních diagramů a indexů způsobilosti, neboť se vynechala jedna chybně naměřená hodnota. Tato hodnota tedy neovlivnila statistickou způsobilost procesu.

3 VLASTNÍ NÁVRHY

Výrobní procesy vybraných dílů byly na základě provedeného zhodnocení označeny za statisticky zvládnuté. Nástroje statistické regulace procesu jsou tedy vhodné pro další sledování výrobních procesů.

Firmě navrhuji využití systému statistické regulace procesu, který je moderním systémem managementu jakosti. Tento systém, který je založen na prevenci, povede k předcházení vzniku neshodných výrobků. Umožní uskutečňovat včasné zásahy do výrobního procesu, neboť zavčas odhalí významné odchylky procesu od předem stanovených parametrů. Využití regulačních diagramů a indexů způsobilosti povede ke zvýšení produktivity a účinnosti vnitropodnikových procesů.

Součástí práce je vytvořená aplikace „Statistická regulace procesu“ v programu MS Excel, která slouží pro provedení statistické regulace procesu. Aplikace automaticky sestaví regulační diagramy a provede výpočet indexů způsobilosti. Pomocí této aplikace tak může uživatel zhodnotit způsobilost výrobního procesu. Pro snadnou obsluhu této aplikace byl vytvořen následující manuál.

Manuál pro obsluhu aplikace „Statistická regulace procesu“

Aplikace obsahuje následující listy:

- *Úvod* – V tomto listě jsou uvedeny základní informace o aplikaci a je zde popsán obsah jednotlivých listů.
- *Zadání dat a výpočet základních charakteristik* – Tento list slouží k zadání naměřených hodnot, ze kterých se ověří normalita datového souboru, sestaví regulační diagramy a vypočítají indexy způsobilosti.
- *Test Kolmogorova-Smirnova* – V tomto listě se ověří normalita datového souboru.
- *Aplikace regulačních diagramů* – Tento list obsahuje sestavené regulační diagramy.
- *Výpočet indexů způsobilosti* – Tento list obsahuje vypočítané indexy způsobilosti.
- *Shrnutí výsledků* – V tomto listě jsou shrnuty výsledky statistické kontroly.

Postup práce s aplikací je následující:

1. Zadání dat a výpočet základních charakteristik

- Aktivujte list „Zadání dat“.
- Do sloupce x zadejte 25 naměřených hodnot sledovaného znaku jakosti. V aplikaci jsou na ukázkou zadány naměřené hodnoty znaku jakosti 1.
- Ze zadaných dat aplikace automaticky vypočte základní charakteristiky datového souboru.

2. Ověření normality datového souboru

- Aktivujte list „Test Kolmogorova-Smirnova“.
- Následujte pokyny, které jsou uvedeny v tomto listě.
- Pokud je závěrem testu „Datový soubor má normální rozdělení“ (viz obr. 43), můžete přejít k sestavení regulačních diagramů.

3. Test Kolmogorova-Smirnova pro normální rozdělení			
Hodnota testového kritéria D:	0,145	Výsledek testu:	Datový soubor má normální rozdělení.
Kritická hodnota D _k :	0,264		

Obr: 43: Datový soubor má normální rozdělení (Zdroj: aplikace, vlastní zpracování)

- V případě že datový soubor nemá normální rozdělení (viz obr. 44), nemůžete dále pokračovat. Je nutné zadat nový datový soubor.

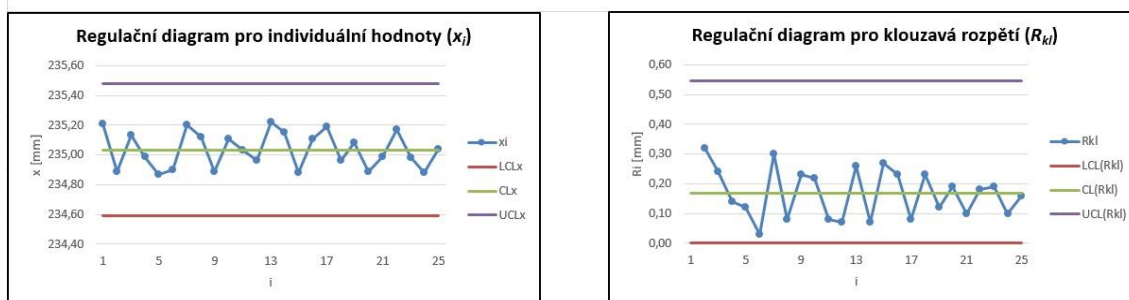
3. Test Kolmogorova-Smirnova pro normální rozdělení			
Hodnota testového kritéria D:	0,265	Výsledek testu:	Datový soubor nemá normální rozdělení.
Kritická hodnota D _k :	0,264		

Obr: 44: Datový soubor nemá normální rozdělení (Zdroj: aplikace, vlastní zpracování)

3. Sestavení regulačních diagramů

- Aktivujte list „Aplikace regulačních diagramů“.
- Aplikace automaticky sestavila regulační diagramy pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí (viz obr. 45).

4. Aplikace regulačních diagramů



Obr. 45: Aplikace regulačních diagramů (Zdroj: aplikace, vlastní zpracování)

- Zkontrolujte, zda se všechny hodnoty nachází v rozmezí regulačních mezí. Dále zkontrolujte, zda v regulačních diagramech nejsou některá z nenáhodných seskupení, která byla uvedena v kapitole 1.4.3. Pokud jsou tyto podmínky splněny, považujeme sledovaný proces za statisticky zvládnutý. Regulační diagramy jsou tak vhodné pro další sledování stability uvedeného procesu.
- Pokud některá z hodnot překročí regulační meze, zjistěte její vymežitelnou příčinu a eliminujte ji. Tuto hodnotu vynechte a přepočítejte regulační diagramy.
- Pokud se v regulačních diagramech vyskytne některé nenáhodné seskupení, zjistěte jeho vymežitelnou příčinu a eliminujte ji. Proveďte nové sestavení regulačních diagramů po zadání nového datového souboru.

4. Výpočet indexů způsobilosti

- Aktivujte list „Výpočet indexů způsobilosti“.
- Zadejte parametry potřebné pro výpočet indexů způsobilosti (Cílovou hodnotu, Dolní toleranční mez a Horní toleranční mez).
- Aplikace automaticky vypočítala indexy způsobilosti C_{pk} a C_{pmk} . Výsledkem je informace o způsobilosti sledovaného procesu.
- Aplikace automaticky vytvořila graf hustoty pravděpodobnosti.

5. Shrnutí výsledků

- V listu „Shrnutí výsledků“ jsou přehledně uvedeny všechny výsledky provedené statistické regulace procesu. Na základě uvedených výsledků přijmeme potřebná opatření.

ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce bylo využití statistických metod pro zajištění způsobilosti procesu výroby vybraných dílů firmy P & L, spol. s r. o. Cílem bylo zhodnotit způsobilost procesu výroby dílů pomocí nástrojů statistické regulace procesu.

Diplomová práce byla rozdělena na teoretickou a analytickou část. V teoretické části byla definována problematika managementu jakosti a jeho základních nástrojů. Dále byly vymezeny základní statistické pojmy, které se vztahují k této práci. Byl představen preventivní nástroj řízení jakosti, kterým je statistická regulace procesu. Následně byla vymezena podstata regulačních diagramů a indexů způsobilosti.

V analytické části byly uvedeny základní informace o firmě, dále byl popsán výrobní proces vybraných dílů a současný proces kontroly kvality výroby. Na vybraných šest znaků jakosti byly aplikovány nástroje statistické regulace procesu. U každého znaku jakosti byly sestaveny Shewhartovy regulační diagramy, pomocí kterých byla zkontrolována statistická zvládnutost výrobního procesu. Způsobilost výrobního procesu byla dále zhodnocena pomocí indexů způsobilosti C_{pk} a C_{pmk} .

Výrobní procesy vybraných dílů byly na základě provedeného zhodnocení označeny za statisticky zvládnuté, což značí vysokou kvalitu vyráběných dílů. Na základě tohoto výsledku bylo navrženo pro další sledování těchto procesů využití statistické regulace procesu, jako moderního systému managementu jakosti. Statistická regulace procesu je tak vhodným systémem pro dosažení a udržení výrobního procesu na stabilní úrovni.

V programu MS Excel byla vytvořena aplikace „Statistická regulace procesu“, pomocí které mohou zaměstnanci využít systém statistické regulace procesu. Tato aplikace automaticky sestaví regulační diagramy a provede výpočet indexů způsobilosti. Pomocí této aplikace může uživatel jednoduše zhodnotit způsobilost výrobního procesu. Pro obsluhu této aplikace byl vytvořen manuál, který je její součástí.

Cílem práce bylo zhodnotit způsobilost procesu výroby vybraných dílů pomocí regulačních diagramů a indexů způsobilosti. Dále navrhnout opatření pro zajištění způsobilosti procesu výroby. Všech uvedených cílů bylo v této práci dosaženo.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
2. NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
3. PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001, 244 s. ISBN 80-7226-543-1.
4. KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management jakosti I*. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 227 s. ISBN 978-80-01-04568-8
5. HINDLS, Richard. *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007, 415 s. ISBN 978-80-86946-43-6.
6. KROPÁČ, Jiří. *Statistika B: jednorozměrné a dvourozměrné datové soubory, regresní analýza, časové řady*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 145 s. ISBN 978-80-7204-822-9.
7. TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000, 362 s. ISBN 80-7225-040-x.
8. KROPÁČ, Jiří. *Statistika C: statistická regulace, indexy způsobilosti, řízení zásob, statistické přejímky*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2008, 97 s. ISBN 978-80-214-3591-9.
9. KUPKA, Karel. *Statistické řízení jakosti: interaktivní analýza a interpretace dat pro řízení jakosti a ekonomiku*. Pardubice: TriloByte, 1997, 191 s. ISBN 80-238-1818-x.
10. P & L, spol. s r. o. [online]. 2016 [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: <http://www.pal.cz/>
11. Veřejný rejstřík a Sbírka listin. *Justice* [online]. Ministerstvo spravedlnosti ČR, ©2012-2015 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=207490&typ=UPLNY>
12. ČSN ISO 8258. *Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
13. Interní dokumentace firmy P & L, spol. s r. o.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Základní údaje firmy	41
Tab. 2: Nabídka zemědělské techniky	42
Tab. 3: Nabídka komunální techniky	42
Tab. 4: Naměřená data regulovaného znaku 1 v mm	49
Tab. 5: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 1	50
Tab. 6: Naměřená data regulovaného znaku 2 v mm	52
Tab. 7: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 2	52
Tab. 8: Naměřená data regulovaného znaku 3 v mm	55
Tab. 9: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 3	55
Tab. 10: Naměřená data regulovaného znaku 4 v mm	58
Tab. 11: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 4	58
Tab. 12: Naměřená data regulovaného znaku 5 v mm	61
Tab. 13: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 5	61
Tab. 14: Naměřená data regulovaného znaku 6 v mm	64
Tab. 15: Kolmogorovův-Smirnovův test – regulovaný znak 6	64
Tab. 16: Shrnutí výsledků	80

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Skupiny procesů managementu jakosti	13
Obr. 2: Graf hustoty pravděpodobnosti	19
Obr. 3: Graf distribuční funkce	19
Obr. 4: Náhodné příčiny variability	22
Obr. 5: Vymezitelné příčiny variability.....	23
Obr. 6: Rozhodovací schéma pro volbu regulačního diagramu.....	25
Obr. 7: Základní schéma regulačního diagramu	26
Obr. 8: Příklad pravidla 1	32
Obr. 9: Příklad pravidla 2	32
Obr. 10: Příklad pravidla 3	33
Obr. 11: Příklad pravidla 4	33
Obr. 12: Příklad pravidla 5	33
Obr. 13: Příklad pravidla 6	34
Obr. 14: Příklad pravidla 7	34
Obr. 15: Příklad pravidla 8	34
Obr. 16: Příklady hodnot indexu C_p	37
Obr. 17: Příklady hodnot indexu C_{pk}	38
Obr. 18: Příklad indexu C_{pm}	40
Obr. 19: Příklad indexu C_{pmk}	40
Obr. 20: Logo společnosti.....	41
Obr. 21: Meziřádkový kultivátor MEKY a kultivátor PPL-8 ECOFERT.....	45
Obr. 22: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 1	50
Obr. 23: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 1	51
Obr. 24: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 2	53
Obr. 25: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 2	54
Obr. 26: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 3	56
Obr. 27: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 3	57
Obr. 28: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 4	59
Obr. 29: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 4	60
Obr. 30: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 5	62

Obr. 31: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 5	63
Obr. 32: Regulační diagram pro individuální hodnoty – regulovaný znak 6	65
Obr. 33: Přepočítaný regulační diagram pro individuální hodnoty regulovaný znak 6 ..	66
Obr. 34: Regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 6	67
Obr. 35: Přepočítaný regulační diagram pro klouzavá rozpětí – regulovaný znak 6	68
Obr. 36: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 1	70
Obr. 37: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 2	72
Obr. 38: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 3	73
Obr. 39: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 4	75
Obr. 40: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 5	76
Obr. 41: Hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 6	78
Obr. 42: Přepočítaná hustota pravděpodobnosti regulovaného znaku 6	79
Obr. 43: Datový soubor má normální rozdělení	82
Obr. 44: Datový soubor nemá normální rozdělení	82
Obr. 45: Aplikace regulačních diagramů	83

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CL	střední přímka	Central Line
LCL	dolní regulační mez	Lower Control Limit
LSL	dolní toleranční mez	Lower Specification Limit
LWL	dolní výstražná mez	Lower Warning Limit
SPC	statistická regulace procesu	Statistical Process Control
T	cílová hodnota	Target Value
UCL	horní regulační mez	Upper Control Limit
USL	horní toleranční mez	Upper Specification Limit
UWL	horní výstražná mez	Upper Warning Limit
VÚMOP, v. v. i.	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.	
VÚRV, v.v.i.	Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.	
σ	sigma	
μ	mí	

SEZNAM PŘÍLOH

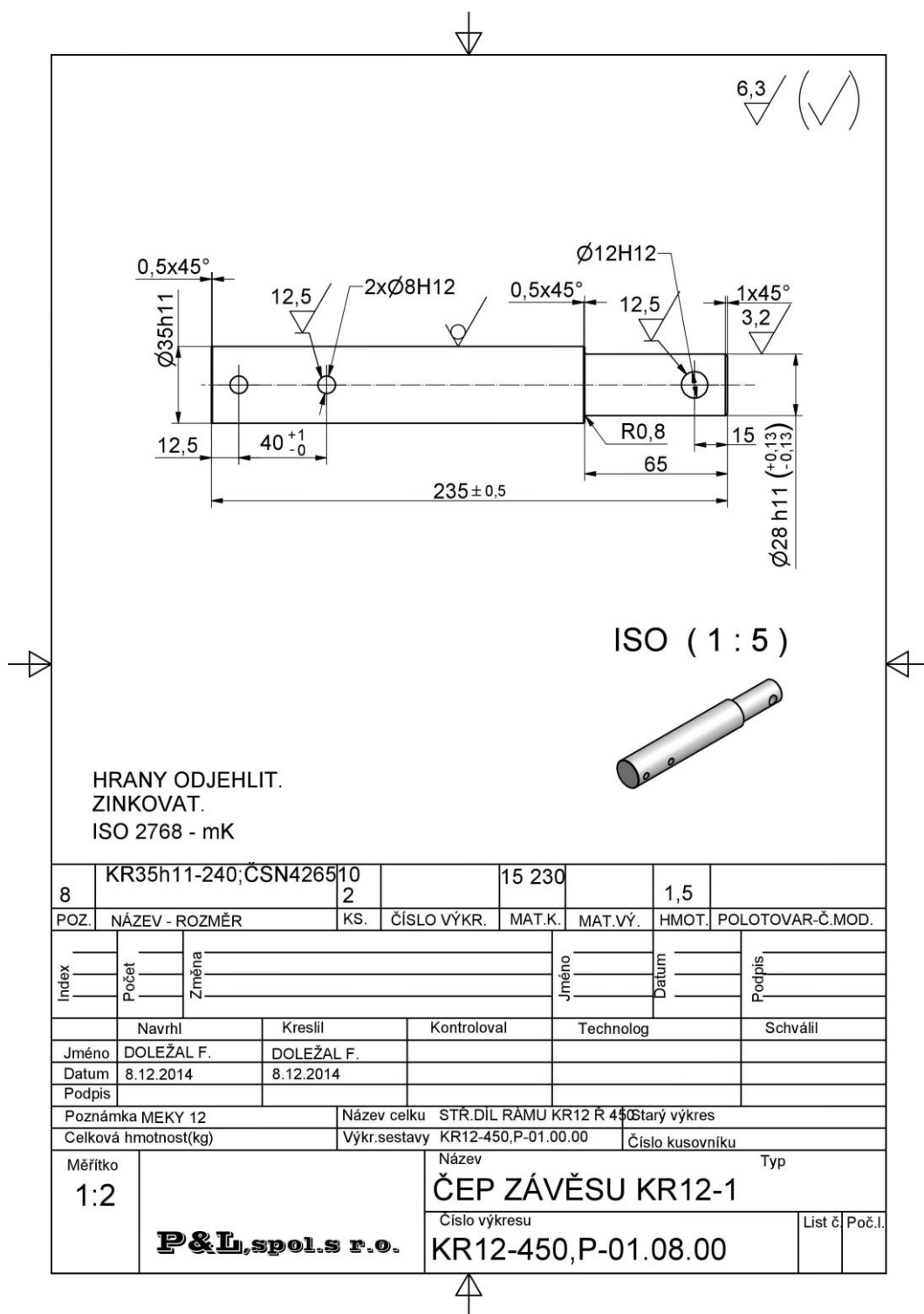
- Příloha 1: Součinitelé pro výpočet CL, LCL, UCL v klasických Shewhartových diagramech
- Příloha 2: Technický výkres čepu závěsu strojů MEKY 12 (18, 24)
- Příloha 3: Technický výkres kroužku držáku strojů MEKY 12 (18, 24)
- Příloha 4: Technický výkres hřídele pro pohon čerpadla kapalného přihnojování strojů MEKY 12 (18, 24) a PPL-6 (8, 12)

PŘÍLOHA 1: Součinitele pro výpočet CL, LCL, UCL v klasických Shewhartových diagramech

Rozsah podskupiny n	Součinitele pro regulační meze										Součinitele pro centrální přírůstek				
	A	A_2	A_3	B_3	B_4	B_5	B_6	D_1	D_2	D_3	D_4	C_4	$1/C_4$	d_2	$1/d_2$
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,797 9	1,253 3	1,128	0,886 5
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,886 2	1,128 4	1,693	0,590 7
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,921 3	1,085 4	2,059	0,485 7
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,940 0	1,063 8	2,326	0,429 9
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,951 5	1,051 0	2,534	0,394 6
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,959 4	1,042 3	2,704	0,369 8
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,965 0	1,036 3	2,847	0,351 2
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,969 3	1,031 7	2,970	0,336 7
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,972 7	1,028 1	3,078	0,324 9
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975 4	1,025 2	3,173	0,315 2
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,977 6	1,022 9	3,258	0,306 9
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979 4	1,021 0	3,336	0,299 8
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981 0	1,019 4	3,407	0,293 5
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,982 3	1,018 0	3,472	0,288 0
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,983 5	1,016 8	3,532	0,283 1
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,984 5	1,015 7	3,588	0,278 7
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,985 4	1,014 8	3,640	0,274 7
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,986 2	1,014 0	3,689	0,271 1
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,986 9	1,013 3	3,735	0,267 7
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,987 6	1,012 6	3,778	0,264 7
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,988 2	1,011 9	3,819	0,261 8
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,988 7	1,011 4	3,858	0,259 2
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,989 2	1,010 9	3,895	0,256 7
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,989 6	1,010 5	3,931	0,254 4

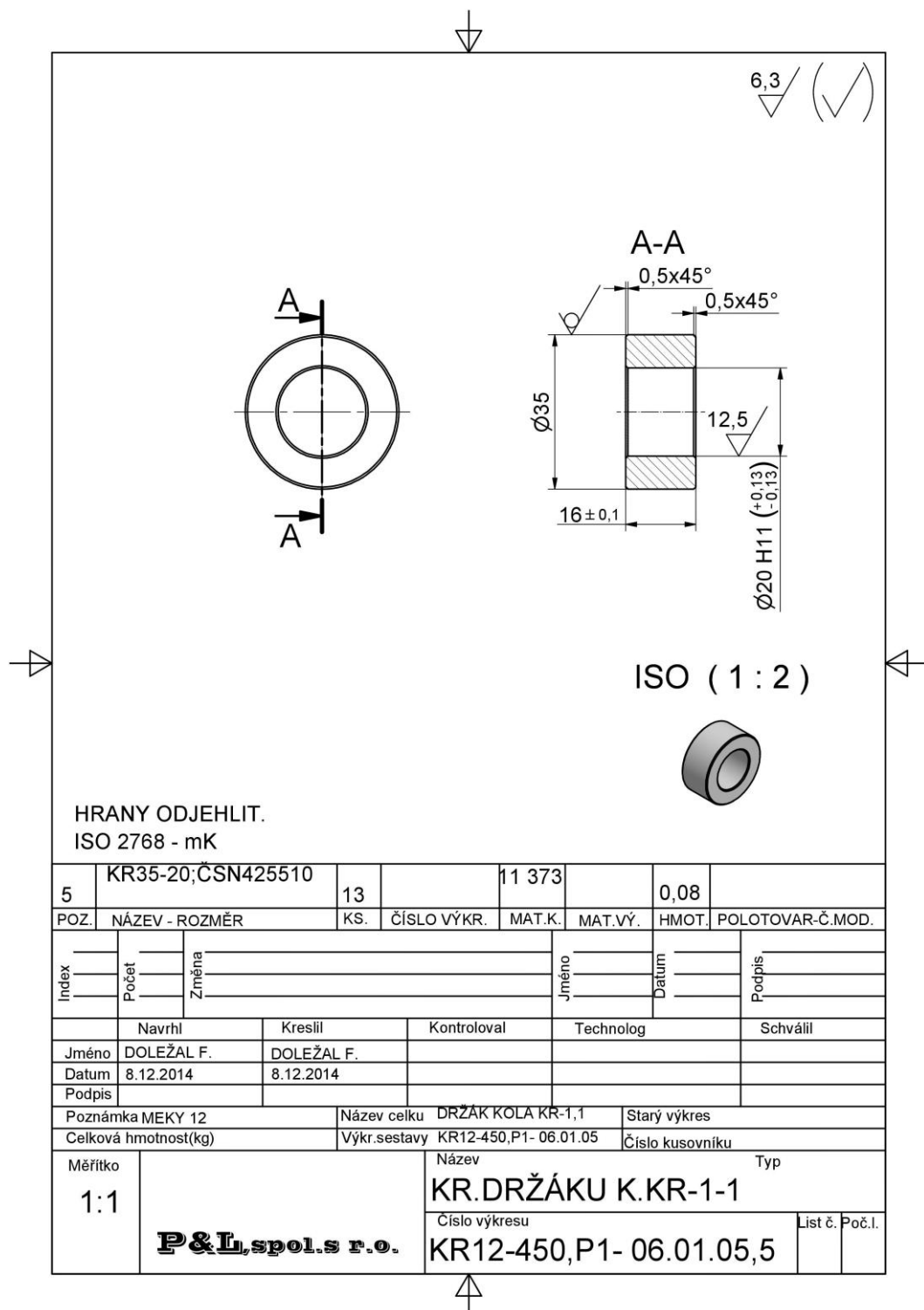
(Zdroj: 12)

PŘÍLOHA 2: Technický výkres čepu závěsu strojů MEKY 12 (18, 24)



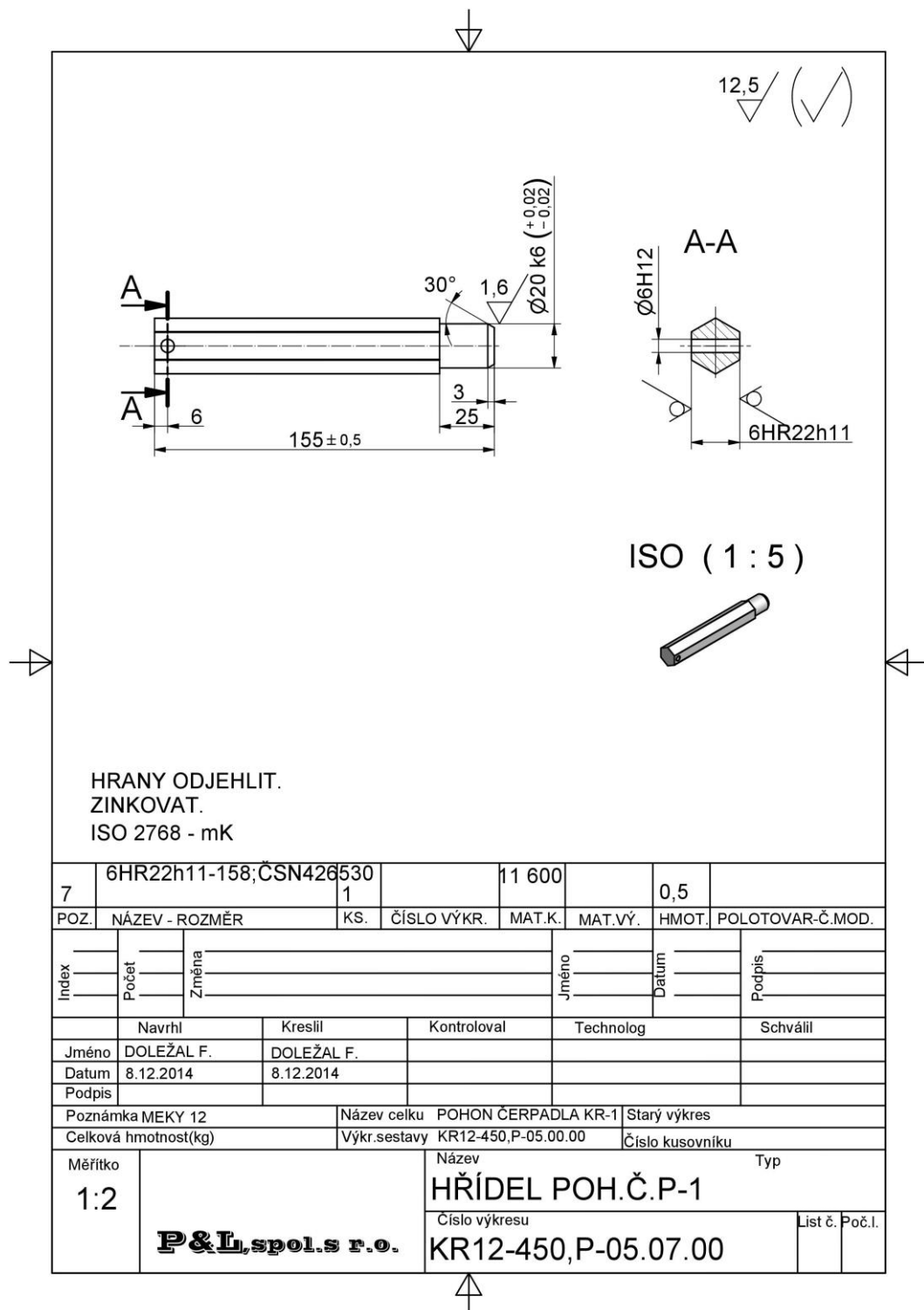
(Zdroj: 13, vlastní úprava)

PŘÍLOHA 3: Technický výkres kroužku držáku strojů MEKY 12 (18, 24)



(Zdroj: 13, vlastní úprava)

**PŘÍLOHA 4: Technický výkres hřídele pro pohon čerpadla kapalného
přihnojování strojů MEKY 12 (18, 24) a PPL-6 (8, 12)**



(Zdroj: 13, vlastní úprava)